# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zwölfter Jahrgang | 26. Dezember 1924 | Heft 52

## Die chemische Bindung als dynamisches Problem*).

Von MAX BORN, Göttingen.

*Einleitung.* Beim heutigen Stande der Physik muß die Frage nach der physikalischen Natur der chemischen Kräfte als ein *Problem der Quantentheorie* aufgefaßt werden. Wir sind in den letzten Jahren unter der Führung von NIELS BOHR zu bestimmten Vorstellungen über den Aufbau der Atome aus Kernen und Elektronen gelangt. Das wichtigste methodische Hilfsmittel hierbei war die Deutung der Linienspektren im optischen und Röntgengebiete im Verein mit direkten Messungen der Energiestufen des Atoms auf Grund des Elektronenstoßverfahrens von FRANCK und HERTZ; andere physikalische Erscheinungen, z. B. die magnetischen, haben eine sekundäre Rolle gespielt. Auf diese Weise konnten die wesentlichsten Züge des periodischen Systems der Elemente, in dem die Chemie ihre gewaltige Erfahrung über die Atome niedergelegt hat, auf physikalische, quantentheoretische Vorstellungen zurückgeführt werden. Der nächste Schritt muß in der quantentheoretischen Deutung der Molekelbildung und des Molekelbaus bestehen. Die Aufgabe meines Vortrages ist es, über die auf diesem Gebiete gewonnenen Ergebnisse und Anschauungen zu berichten.

### 1. *Quanthentheoretische Bedeutung der chemischen Energie.*

Eine rein theoretische Berechnung der stationären Zustände und Energieniveaus ist außer beim Wasserstoffatom bisher noch bei keinem Atome möglich, da uns die quantentheoretischen Gesetze der Koppelung mehrerer Elektronen nicht bekannt sind. Erst recht ist also eine exakte, deduktive Behandlung der aus mehreren Kernen und Elektronen bestehenden Molekeln unmöglich. Man muß auch hier empirische Kenntnisse zu Hilfe nehmen und sich mit Annäherungen begnügen.

Bei den Molekeln bietet sich nun ganz von selbst ein Gesichtspunkt zur rationellen Aufspaltung des dynamischen Problems in sukzessive Näherungen dar, nämlich die Kleinheit der Elektronenmasse im Verhältnis zur Kernmasse. Für das Wasserstoffatom ist dieser Quotient etwa $\frac{1}{1836}$, für die andern Atome noch kleiner. Da andererseits die Kräfte, die an Elektronen und Kerne angreifen, von gleicher Größenordnung sind, so werden die Geschwindigkeiten der Kerne sehr klein sein gegen die der Elektronen. Daher wird man die Elektronenbewegung in erster Näherung so berechnen können, als ob die Kerne ruhten. Für die Bestimmung der Energie ergibt sich hieraus folgendes Verfahren:

Die gesamte kinetische Energie der Molekel zerfällt additiv in zwei Teile, die kinetische Energie der Kerne $T_K$ und die der Elektronen $T_E$; die potentielle Energie $U$ läßt sich nicht entsprechend spalten. Die Gesamtenergie

$$W = T_K + T_E + U$$

kann man nun in eine Reihe von Gliedern verschiedener Größenordnung zerlegen, entsprechend dem Vorkommen der kleinen Elektronenmasse $\mu$. Die mathematische Untersuchung zeigt, daß als Entwicklungsparameter die Größe $\lambda = \sqrt{\frac{\mu}{m}}$ zu nehmen ist, wo $m$ etwa die Masse des H-Atoms bedeutet. Die Energie in erster Näherung $V$ erhält man nun einfach in der Weise, daß man die Kerne in irgendwelchen Lagen festgehalten denkt und ihre kinetische Energie $T_K$ vernachlässigt; dann bleibt

$$V = T_E + U\,.$$

Diese Größe hängt einmal von den fest gewählten Koordinaten der Kerne, sodann von den variabeln Koordinaten der Elektronen ab.

Nunmehr hat man auf die Elektronenbewegung die Quantentheorie anzuwenden. Wenn wir auch nicht in der Lage sind, diese Rechnungen wirklich auszuführen (nicht nur wegen ihrer Kompliziertheit, sondern vor allem wegen unserer Unkenntnis der wahren Quantengesetze), so können wir doch die Form des Ergebnisses mit Sicherheit angeben: $V$ wird nämlich eine Funktion gewisser Quantenzahlen $n_1, n_2, \ldots$ werden. Außerdem bleibt die Abhängigkeit von den willkürlich gewählten Kernlagen bestehen; wir deuten diese an, indem wir als Argumente die Entfernungen $r_{12}, r_{13}, r_{23}, \ldots$ der Kerne anschreiben:

$$V(n_1, n_2, \cdots;\ r_{12}, r_{13}, \cdots)\,.$$

Der nächste Schritt der Annäherung besteht nun darin, daß man die kinetische Energie der Kerne wieder hinzufügt; dann wird die Gesamtenergie der Molekel:

$$W = T_K + V(n_1, n_2, \cdots;\ r_{12}, \cdots)\,.$$

Die mathematische Analyse[1]) lehrt, daß dieser Ausdruck richtig ist, wenn man Glieder von der Ordnung $\lambda^2 = \frac{\mu}{m}$ an vernachlässigt (d. h. einen Fehler von der Größenordnung $3 \cdot 10^{-7}$ begeht).

Der gewonnene Ausdruck der Energie zeigt nun, daß bei gegebener Elektronenkonfiguration, d. h.

*) Vortrag gehalten auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Innsbruck am 26. September 1924.

gegebenen Quantenzahlen $n_1, n_2, \ldots$ die Molekel sich verhält, als wenn zwischen den Kernen eine potentielle Energie bestände, die nur von den gegenseitigen Entfernungen der Kerne abhängt. Damit die Molekel überhaupt existenzfähig ist, muß eine stabile Gleichgewichtskonfiguration der Kerne vorhanden sein, bei der $V$ ein Minimum hat. Alle möglichen Kernbewegungen lassen sich dann auffassen als Übereinanderlagerung von Rotationen bzw. Kreiselbewegungen der als starr gedachten Gleichgewichtskonfiguration der Kerne [wobei noch ein resultierendes Drehmoment der Elektronenbewegung[2]) zu berücksichtigen ist] und von Schwingungen der Kerne gegeneinander.

Jede Molekel existiert in verschiedenen Modifikationen, die sich durch die Art der Elektronenbahnen und die Werte der zugehörigen Quantenzahlen $n_1, n_2, \ldots$ unterscheiden. Die Modifikation mit den kleinsten Quantenzahlen, etwa $n_1 = 1$, $n_2 = 1, \ldots$ ist die stabilste, sie hat ohne äußeren Eingriff unbeschränkte Lebensdauer und stellt den Normalzustand der Molekel dar. Mit diesem Normalzustand haben wir es hier allein zu tun; denn nur er spielt in der gewöhnlichen Chemie eine Rolle. Die Eigenschaften der angeregten Zustände mit höheren Elektronen-Quantenzahlen sind neuerdings zwar auch Gegenstand eingehender Untersuchungen der Physiker (besonders von FRANCK und seiner Schule) geworden, doch soll diese „pathologische Chemie" hier außer Betracht bleiben.

Setzen wir $n_1 = 1$, $n_2 = 1, \ldots$ in $V$ ein, so erhalten wir die Energie der normalen Molekel:

$$W = T_K + V(r_{12}, r_{13}, r_{23}, \cdots).$$

Die chemische Bildungswärme beim absoluten Nullpunkt ist der Wert $V_0$ von $V$ im Gleichgewicht. Ferner sind für die Chemie von Wichtigkeit die Gleichgewichtsabstände $r_{12}^0, r_{13}^0, \ldots$ und die daraus abzuleitenden Trägheitsmomente, die in die chemische Konstante eingehen, weiter die Schwingungszahlen (bestimmt durch die zweiten Ableitungen von $V$), die ebenfalls für die chemische Konstante und außerdem für die spezifische Wärme bei hohen Temperaturen maßgebend sind.

Für die Chemie kommt es also keineswegs darauf an, den Gesamtverlauf von $V$ als Funktion der Kernabstände zu kennen, sondern es genügt die Kenntnis einer beschränkten Anzahl aus $V$ abgeleiteter Konstanten (die Gleichgewichtsabstände $r_{ik}^0$ und die Werte von $V$ und seiner zweiten Ableitungen im Gleichgewicht).

Einen Teil dieser Konstanten kann man durch rein physikalische Messungen direkt bestimmen, nämlich mit Hilfe des Bandenspektrums; dieses liefert die Trägheitsmomente (und daraus in vielen Fällen die $r_{ik}^0$), die Schwingungszahlen und manchmal sogar noch höhere Ableitungen von $V$ im Gleichgewicht. Aber den Energiewert $V_0$, die Bildungswärme, kann man vorläufig direkt so nicht bekommen.

Das Ziel der dynamischen Molekeltheorie ist die theoretische Berechnung der Funktion $V$ und der daraus abgeleiteten Konstanten, vor allem der Bildungswärme $V_0$. Ehe wir darauf näher eingehen, wollen wir kurz darlegen, wie sich vom Standpunkt dieser Theorie die Lehre vom chemischen Gleichgewicht und von der Reaktionsgeschwindigkeit gestaltet.

### 2. *Chemisches Gleichgewicht und Reaktionsgeschwindigkeit.*

Die klassische Periode der Lehre vom chemischen Gleichgewicht, die durch die Anwendung rein thermodynamischer Methoden gekennzeichnet ist, wurde durch die Aufstellung des NERNSTschen Theorems zu einem gewissen Abschluß gebracht. Sie hat zu dem Ergebnis geführt, daß die Berechnung von Gleichgewichten und Affinitäten auf Größen zurückgeführt werden kann, die sich durch rein physikalische Messungen bestimmen lassen.

Die Atomphysik stellt die weitergehende Aufgabe, diese Konstanten aus der Dynamik der Elementarprozesse abzuleiten. Zugleich verlangt sie eine statistische Begründung der thermodynamischen Formeln unter Berücksichtigung der Quantentheorie.

Auch dieses Problem kann heute als gelöst bezeichnet werden. Die Quantenstatistik, sei es in einer an die Gibbsschen Verteilungsfunktionen anknüpfenden Form, sei es auf Grund der nur mit Mittelwerten operierenden neuen Methode von DARWIN und FOWLER[3]), liefert mit Sicherheit und auf einfache Weise jede Formel, durch die ein statistisches Problem beantwortet wird. Hierzu sind folgende Daten notwendig: 1. Die Energiewerte $W_1, W_2, \ldots$ der stationären Zustände aller beteiligten Partikeln; 2. die statistischen Gewichte oder Apriori-Wahrscheinlichkeiten $p_1, p_2, \ldots$ dieser Zustände; 3. die auf SACKUR und TETRODE zurückgehende Festsetzung, daß im Phasenraum der Translationsbewegung (die keinen Quantenbedingungen unterliegt) jedem Volumen von der Größe $h^3$ ($h$ ist die Plancksche Konstante) das Gewicht 1 zukommt. Das Nernstsche Theorem in seiner allgemeinsten Fassung ist dann in der Aussage enthalten, daß die niedrigsten Quantenzustände kondensierter Systeme gleiches statistisches Gewicht haben.

Diese Ansätze führen nicht nur auf die Theorie der Gleichgewichte gewöhnlicher Atome und Molekeln, sondern haben sich auch bei der Abspaltung von Elektronen, der Ionisation, bewährt. Ich erinnere an die Erfolge dieser Überlegungen bei der Erklärung der Leuchterscheinungen der Gestirne durch EGGERT, SAHA, FOWLER u. a.

Was nun die chemische Kinetik betrifft, so ist diese von einer befriedigenden Theorie noch weit entfernt. Ich will aber die Gelegenheit ergreifen, hier auf einen Punkt hinzuweisen, der für das Verständnis des Zustandekommens der Verbindung zweier Atome von Wichtigkeit ist.

Bei der Bildung einer Verbindung unter Energieabgabe handelt es sich um den Elementarakt

daß zwei Atome sich anziehen, aufeinander zustürzen und dann zusammenbleiben; dabei muß natürlich die frei werdende Energie dem reagierenden Atompaar irgendwie entzogen werden. Über die Art, wie das geschieht, sind im wesentlichen zwei Möglichkeiten diskutiert worden: 1. die Energieabgabe durch Strahlung; 2. die Energieabgabe durch einen „Dreierstoß", d. h. die Übertragung der frei werdenden Energie an ein drittes, an der Reaktion unbeteiligtes, aber in ihrem Wirkungsbereich befindliches Teilchen (Atom oder Molekel).

Die Energieabgabe durch Strahlung kann nur in ganz bestimmten, klar zu übersehenden Fällen eintreten, nämlich dann, wenn es sich um die Vereinigung geladener Teilchen handelt, wobei ein elektrisches Moment entsteht (Einfangen eines Elektrons, Verbindung zweier Ionen). Wir wollen diese Fälle außer Betracht lassen und die Entstehung nicht polarer Molekeln aus neutralen Atomen ins Auge fassen, wo eine Ausstrahlung nicht möglich ist.

Rechnungen von POLANYI und HERZFELD[4]) haben gezeigt, daß die Häufigkeit des Bindungsprozesses mit der Annahme von Dreierstößen im Einklang ist. Um dies theoretisch zu begründen, hat man gewöhnlich so argumentiert: Eine Molekel, die mehr Energie enthält als ihre Dissoziationsarbeit beträgt, zerfällt sofort wieder; da nun beim Zusammenstoß der reagierenden Atome sicherlich eine Energie mindestens gleich der Dissoziationsarbeit zur Verfügung steht, so würden die Atome nicht zusammenbleiben können, wenn nicht durch ein drittes Teilchen der Energieüberschuß abgeführt würde.

FRANCK und ich[5]) haben bemerkt, daß die Voraussetzung dieser Schlußweise falsch ist: Eine Molekel kann wesentlich mehr Energie enthalten, als ihre Dissoziationsarbeit beträgt. Einmal kann diese Energie durch einen Elektronensprung aufgespeichert sein; das geschieht z. B. bei der Absorption von Licht durch die Wasserstoffmolekel, die bekanntlich ultraviolettes Licht absorbiert (und als Bandenspektrum wieder emittiert), mit einer Energie $h\nu$, die mehrfach größer ist als die Dissoziationsarbeit. Aber man kann weiter zeigen, daß sogar die Bewegungsenergie der Kerne größer werden kann als die Dissoziationsarbeit; so kann bei vorsichtiger Schätzung der Kräfte eine schwingungsfrei rotierende, zweiatomige Molekel das Zwei- bis Dreifache der Dissoziationsarbeit an Rotationsenergie haben, ehe die Zentrifugalkräfte sie zum Platzen bringen. Damit wird das übliche Argument zur Begründung der Notwendigkeit von Dreierstößen hinfällig. FRANCK und ich haben uns überlegt, daß diese Notwendigkeit gleichwohl besteht, nur aus einem anderen Grunde. Dieser beruht auf der Verschiedenheit der Translationsbewegungen und der inneren Bewegungen hinsichtlich der Quantenvorschriften: Während die Translationsbewegung jede beliebige Energie haben kann, sind die inneren Bewegungen durch Quantenbedingungen festgelegt und haben diskrete Energieniveaus. Wenn nun zwei Atome aufeinander zulaufen, um sich zu vereinigen, so bewegt sich ihr Schwerpunkt vor und nach dem Zusammenstoß geradlinig gleichförmig; die relative Energie der freien Atome gegen den Schwerpunkt hat vor dem Zusammenstoß irgendeinen beliebigen Wert, nach der Vereinigung aber kann sie nur einen der diskreten Energiewerte haben, die den stationären Zuständen der Molekel (auch Kernschwingungen und Rotationen sind gequantelt!) entsprechen. Es ist unendlich unwahrscheinlich, daß diese beiden Energiewerte übereinstimmen; folglich bleibt ein Energierest, der an ein drittes Teilchen abgegeben werden muß, wenn anders die Molekel überhaupt entstehen soll.

Wir sehen hier, wie die Quantentheorie wesentlich in den Mechanismus der chemischen Kinetik eingreift.

### *3. Näherungsverfahren zur Berechnung der Bildungsenergie.*

Der einzige Fall, wo ein ernsthafter Versuch gemacht worden ist, die Energiefunktion $V$ wirklich zu berechnen, ist das positive Ion der Wasserstoffmolekel $H_2^+$. Hier hat man zwei Kerne und ein Elektron, und wenn man die Kerne in erster Näherung als ruhend ansieht, so handelt es sich um das schon von JACOBI gelöste Problem der zwei Zentren. Die Bewegung des Elektrons ist mehrfach-periodisch und erlaubt die Anwendung der am Wasserstoffatom bewährten Quantenregeln. PAULI und NIESSEN[6]), die unabhängig voneinander diese Rechnungen durchgeführt haben, durften erwarten, die richtigen Energiestufen des $H_2^+$ zu finden; aber diese Hoffnung hat getäuscht, die berechneten Werte lassen sich nicht mit den neueren Messungen der Ionisierungs- und Anregungsspannungen von SMYTH[7]) u. a. in Einklang bringen. Es ist nicht leicht, sich mit diesem negativen Resultat abzufinden. Jedenfalls kommen wir zu dem Schluß, daß unsere Quantenregeln bei gekoppelten Systemen immer versagen, handle es sich um mehrere Elektronen oder um mehrere Kerne. Die Hoffnung, auf dem Wege der strengen Rechnung weiterzukommen, ist also vorläufig sehr gering. Das Wesen der Schwierigkeit offenbart sich schon am zweiteinfachsten Atom, dem Heliumatom. Die beiden Elektronen desselben erzeugen bei ihrer Bewegung Wechselfelder von hoher Frequenz; wir wissen aber, daß die Atome auf die Felder von Lichtwellen, deren Frequenz von derselben Größenordnung ist, ganz unmechanisch reagieren. Darum können wir auch nicht erwarten, daß die Wechselwirkung der Elektronen desselben Atoms nach den Gesetzen der klassischen Mechanik erfolgt. Versuche zur Abänderung der Mechanik in konsequenter Verfolgung der quantentheoretischen Grundideen stecken erst in den primitivsten Anfängen. Ich rechne hierzu einen Formalismus, den HEISENBERG[8]) zur Deutung der anomalen Zeeman-Effekte angegeben hat, und eine

systematische Abänderung der klassischen Störungsformeln (Verwandlung von Differentialgleichungen in Differenzengleichungen), die ich kürzlich vorgeschlagen habe[9]). Die Richtung dieser Bestrebungen liegt klar zutage: es handelt sich darum, mit einer diskontinuierlichen, auf ganzen Zahlen beruhenden Physik des Atoms Ernst zu machen. Aber wir sind noch weit von der Lösung dieser Probleme.

Vorläufig sind wir daher gezwungen, uns mit Näherungsverfahren zu begnügen, die nicht auf rein theoretischer Grundlage ruhen, sondern empirische Befunde mit verwerten. Es liegt hier, bei der Theorie der Molekelbildung, ähnlich wie bei BOHRS Aufbau des periodischen Systems. Wie BOHR dabei die Linienspektra und andere Atomeigenschaften benützt, so ziehen wir beim Molekelbau die Bandenspektra, die Kristalleigenschaften u. a. heran.

Bei jedem Annäherungsverfahren ist die Hauptsache, den richtigen Gesichtspunkt zu finden, nach dem die Approximation stattzufinden hat. Ich sehe das Verdienst der KOSSELschen Anschauungen, von denen auch mein Vorredner, Herr FAJANS, gesprochen hat, gerade in der Angabe dieses Gesichtspunktes. KOSSEL[10]) hat nämlich betont, daß es einen Grenzfall gibt, der einer dynamischen Behandlung ohne wesentliches Eingreifen spezieller Quantenvorstellungen zugänglich ist: die extrem polaren Verbindungen, bei denen man annehmen darf, daß die Molekel durch Aneinanderlagerung zweier, vorher durch Elektronenaustausch gebildeter Ionen entsteht. Bei dieser Vereinigung fertiger Ionen treten hauptsächlich die Coulombschen Anziehungskräfte in Wirksamkeit; die Bindungsenergie wird also im wesentlichen durch zwei Konstanten des Ions bestimmt: seine Ladung und sein Volumen. Der Fortschritt gegen den vor mehr als 100 Jahren von BERZELIUS gemachten Versuch, die chemischen Kräfte als elektrostatische aufzufassen, besteht in zweierlei: einmal in der Beschränkung auf die streng polaren Verbindungen, die an Hand des periodischen Systems genau bezeichnet werden, sodann in der Einführung des Ionenvolumens, von dem man vor 100 Jahren ebensowenig etwas wußte wie vom periodischen System. Es ist nötig dies hervorzuheben, weil die KOSSELsche Theorie mißverstanden und darum herabgesetzt worden ist. Die Vorstellung der Ionen als geladener, starrer Kugeln ist natürlich nur ein Grenzfall, der als Ausgangspunkt höherer Näherungen dienen soll; aus KOSSELS Abhandlungen geht hervor, daß er sich dieses Umstandes klar bewußt war, und ich möchte daher nicht Herrn FAJANS beistimmen, der in der Annahme der starren Kugeln das Charakteristische der KOSSELschen Theorie sehen will. Ob KOSSEL bei den Anwendungen seiner Theorie auf die Komplexverbindungen in der Vereinfachung der Annahmen zu weit gegangen ist, diese Frage liegt außerhalb meiner Kompetenz als Physiker.

Wollen wir das von KOSSEL angeregte Näherungsverfahren in eine mathematische Formel kleiden, so werden wir die quasi-potentielle Energie $V$ zweier Ionen aufeinander in eine Potenzreihe nach dem reziproken Abstand $r$ der Kerne entwickeln; diese Reihe

$$V = \frac{e_1 e_2}{r} + \frac{a_2}{r^2} + \frac{a_3}{r^3} + \cdots$$

beginnt mit dem Coulombschen Anziehungsgliede der gesamten Ionenladungen $e_1$ und $e_2$, die folgenden Glieder stellen die durch das Wechselspiel der Elektronen entstehenden Kräfte dar, die teils anziehend, teils abstoßend sein werden. Im Falle starrer Kugeln hat man nur das erste Glied der Reihe zu nehmen und die übrigen durch die Vorschrift zu ersetzen, daß $r$ nicht kleiner als die Summe der Kugelradien werden kann. Statt dessen kann man aber auch außer dem Coulombschen Gliede ein einziges Abstoßungsglied mit einer hohen Potenz von $r^{-1}$ nehmen, also

$$V = \frac{e_1 e_2}{r} + \frac{a_n}{r^n}$$

schreiben.

*4. Elektrostatische Theorie der Kristallgitter.*

Um diesen Ansatz quantitativ zu verwerten, muß man sicher sein, daß man bei der Beschränkung auf die beiden angeschriebenen Glieder keinen großen Fehler begeht. Hier liegt die Wurzel für die Einführung der Kristallgitter in diesen Gedankengang. Denn in einem Ionengitter, in dem, wie z. B. beim Steinsalz, jedes Ion ganz symmetrisch von den übrigen Ionen umgeben ist, können Deformationen der Ionen nur in allseitigen Kompressionen oder Dilatationen bestehen, während bei binären Molekeln, z. B. dem NaCl-Dampf, die einseitig wirkenden Kräfte starke einseitige Verzerrungen erzeugen müssen. Für solche Gitter folgt dann aus bloßen Symmetriebetrachtungen, daß das erste nicht verschwindende Glied nach dem Coulombschen einen hohen Exponenten $n$ haben muß, und man wird versuchsweise sich mit diesem einen Gliede begnügen.

Durch die Heranziehung von Ionengittern mußte es also möglich sein, zu quantitativen Energieberechnungen zu gelangen. Dabei waren gewisse mathematische Schwierigkeiten zu überwinden, die von der schlechten Konvergenz der Reihen herrühren, durch welche die Coulombsche Energie der Ionen eines Gitters dargestellt wird. MADELUNG und EWALD[11]) haben diese Aufgabe in so vollkommener Weise gelöst, daß man heute für jedes Ionengitter mit relativ geringer Mühe die elektrostatische Energie berechnen kann.

Zur genauen Festlegung des Abstoßungsgliedes, d. h. der Konstanten $a_n$ und des Exponenten $n$, kann man sichere empirische Daten benutzen, nämlich die röntgenometrisch bestimmte Gitterkonstante und die Kompressibilität. Es hat sich dabei gezeigt, daß der Wert von $n$ für alle Alkalihaloide in der Gegend von 9 herauskommt, was mit der hohen (kubischen) Symmetrie der Ionen und des Gitters im Einklang ist.

Als Resultat dieser Rechnung erhält man eine „Gitterenergie" genannte Größe, die gleich der Arbeit ist, die man zur Auflösung des Gitters in unendlich weit voneinander entfernte Ionen braucht. Aber diese Gitterenergie ist noch nicht mit der meßbaren Wärmetönung identisch, da diese die Arbeit mißt, die bei der Vereinigung der neutralen Atome verfügbar wird. Man muß also noch die zur Verwandlung der Atome in Ionen erforderliche Arbeit kennen; diese besteht ihrerseits aus der Ionisierungsarbeit der Kationen und der bei der Aufnahme von Elektronen in den Anionen frei werdenden Energie, die man Elektronenaffinität der Anionen nennt. Diese beiden Größen sind Atomkonstanten; bei ihrer Bestimmung läßt sich die Quantentheorie nicht umgehen. Aber sie gehören auch gar nicht in das Kapitel von der Molekelbildung, sondern in die Lehre von der Atomstruktur. Man sieht also, daß ein wesentlicher Vorteil der Beschränkung auf polare Verbindungen in der Möglichkeit zu erblicken ist, die Bildungsenergie in zwei Teile zu zerlegen[12]): der eine Teil besteht in Atomkonstanten (Ionisierungsspannung, Elektronenaffinität), der andere Teil (Gitterenergie) erlaubt eine äußerst einfache Berechnung mit Hilfe der Elektrostatik, wobei die quantentheoretischen Eigenschaften der Ionen sich durch eine einfache Abstoßungskraft mit empirisch bestimmbaren Konstanten ausdrücken lassen. Den Zusammenhang dieser Teilenergien mit der meßbaren Wärmetönung übersieht man am besten mit Hilfe einfacher Kreisprozesse.

Fragen wir nun, ob die Atomtheorie wirklich imstande ist, die hier gebrauchten Atomkonstanten zu liefern, so ist das leider nur für die eine der beiden Arten der Fall, die Ionisierungsarbeit der Kationen, die beim Wasserstoff aus dem Bohrschen Modell berechnet, in anderen Fällen mit elektrischen oder optischen Methoden gemessen werden kann. Für die Elektronenaffinität der Anionen haben wir keine direkten Bestimmungsmethoden; eine von FRANCK[13]) vorgeschlagene spektroskopische Methode führt nach neuen Untersuchungen von OLDENBERG[14]) nicht zum Ziel. Um trotzdem die Theorie prüfen zu können, muß man die Elektronenaffinitäten durch Benutzung anderer Messungen eliminieren; das ist in der Tat möglich auf Grund einer von FOOTE und MOHLER, genauer von KNIPPING[15]) ausgeführten Untersuchung, die mit Hilfe der Elektronenstoßmethode die Zerlegungsarbeit der Halogenwasserstoffe in die Atomionen gemessen haben. Die einzige Unsicherheit der empirischen Daten zur Prüfung der Gitterenergien ist die Dissoziationswärme des Wasserstoffs; wählt man diese gleich 80 kcal, so erhält man eine so gute Übereinstimmung zwischen den elektrostatisch und den aus Messungen berechneten Gitterenergien, daß man umgekehrt hieraus auf die Richtigkeit dieser Wahl schließen darf (s. Tab. 1).

Die elektrostatische Rechnung scheint also brauchbar zu sein. Leider ist sie bei komplizierteren Gittern mühsam und auf solche Fälle beschränkt, wo die Ionen keine einseitigen Deformationen erleiden. Die Nützlichkeit des Begriffes der Gitterenergie zur Aufklärung chemischer Beziehungen reicht aber weiter als die elektrostatische Berechnungsmethode; man kann ja die Gitterenergie mit Hilfe von Kreisprozessen aus meßbaren Größen ableiten und dann untersuchen, ob sich nicht Gesetzmäßigkeiten beim Vergleich verschiedener Klassen von Verbindungen zeigen. Diesen Weg hat Herr GRIMM[16]) mit vielem Erfolge beschritten; es hat sich gezeigt, daß tatsächlich die Gitterenergie viel einfachere und deutlichere Regelmäßigkeiten zeigt als die meßbare Wärmetönung, die sich aus verschiedenen Anteilen (Ionisierungsspannung, Elektronenaffinität, Sublimationswärme, Gitterenergie) aufbaut.

Tabelle I.
Gitterenergie $U$ in kcal.

| | $U$ elektrostatisch | $U$ aus Beobachtungen |
|---|---|---|
| NaCl . . . | 183 | 182 |
| NaBr . . . | 170 | 171 |
| NaJ . . . | 159 | 158 |
| KCl . . . . | 165 | 162 |
| KBr . . . | 154 | 155 |
| KJ . . . . | 144 | 144 |
| RbCl . . . | 161 | 155 |
| RbBr . . . | 151 | 148 |
| RbJ . . . | 141 | 138 |

GRIMM und HERZFELD[17]) haben ferner die Frage aufgeworfen und weitgehend beantwortet, auf welche Weise sich die gewöhnliche Valenztheorie mit ihren festen, gerichteten Bindungskräften auf Grund der dynamischen Auffassung rechtfertigen läßt, ob nicht die letztere weiter führt und Ausnahmen der strengen Valenzregeln zu erklären gestattet. Sie befolgen die Methode, daß sie neben den wirklich vorkommenden Verbindungen „virtuelle" Verbindungen betrachten und deren Gitterenergie theoretisch (schätzungsweise) berechnen; dann zeigt es sich, daß die als Maß der Stabilität geltende Bildungswärme im allgemeinen bei den existierenden Verbindungen ein ausgeprägtes Maximum hat. So erhält man z. B. für die einwertigen Chloride:

Tabelle II.
Bildungswärmen der einwertigen Chloride.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ClNe | — 254 | ClNa | 98,6 | ClMg | 18 |
| ClA | — 126 | ClK | 104,1 | ClCa | 52 |
| ClKr | — 95 | ClRb | 105,0 | ClSr | 57 |

Man erkennt hieraus die Unmöglichkeit der Edelgaschloride, die hohe Stabilität der Alkalichloride und eine, wenn auch sehr geringe Stabilität der Chloride von Calcium und Strontium, die nach der Theorie der festen Valenzen nicht existieren dürften; tatsächlich ist die Verbindung CaCl beobachtet worden.

Leider lassen sich vorläufig mit dieser energetischen Methode nur solche Verbindungen untersuchen, bei denen große Energiemengen umgesetzt werden; denn nur dann reicht die Genauigkeit

unserer theoretischen Energiebestimmungen aus. Aber der Gedanke der dynamischen Auffassung der chemischen Affinität, wie er hier zum ersten Male verwirklicht worden ist, wird sicher noch eine große Rolle spielen.

### 5. *Die Ionendeformation.*

Nachdem durch diese Untersuchungen die Methode einigermaßen sichergestellt war, konnte der nächste Schritt über KOSSELS ursprünglichen Ansatz heraus versucht werden, nämlich die Berücksichtigung der wechselseitigen Deformation der Elektronenbahnen in den Ionen. Eine solche muß z. B. schon bei den Molekeln der Salzdämpfe eintreten, worauf wir oben hingewiesen haben.

Herr FAJANS[18]) hat das große Verdienst, auf die Wichtigkeit dieser Ionendeformation aufmerksam gemacht und ein großes chemisches Material von diesem Standpunkt aus durchgearbeitet zu haben, worüber er selbst soeben ein Referat erstattet hat. Ich brauche daher auf diese interessanten Fragen, die unsere Untersuchungen vielfach berühren, nicht einzugehen; der Klarheit halber möchte ich aber hervorheben, welches der Unterschied zwischen der von Herrn FAJANS eingeschlagenen Arbeitsrichtung und der unsrigen ist. Herr FAJANS richtet sein Augenmerk hauptsächlich darauf, daß ein und dasselbe Ion in verschiedenen Verbindungen etwas verschieden ist; als Kriterium hierfür benutzt er die Deformierbarkeit der Ionen, gemessen durch die Molrefraktion. So ist z. B. das Cl-Ion in den Verbindungen HCl und NaCl merklich verschieden, wie aus einer Diskussion der Refraktionskonstanten zu schließen ist. Hierauf gründet FAJANS eine Systematik der wechselseitigen Beeinflussung der Ionen und zieht daraus mannigfaltige und wichtige chemische Folgerungen.

Die Richtung unserer Betrachtungen führt auf einen etwas anderen Gesichtspunkt. Die wechselseitige Deformation der Ionen war für quantitative Energieberechnungen zunächst ein störendes Moment; man mußte sie überall befürchten, und es kam gerade darauf an, Fälle zu suchen, wo sie geringfügig und einfach darstellbar wäre. Diese Fälle wurden in den hochsymmetrischen Salzkristallen gefunden, wo es sich nur um eine allseitige Deformation handeln konnte. Die übrigbleibenden Unterschiede in der Refraktion der Ionen von Kristall zu Kristall sind ein Anzeichen dieser allseitigen Deformation, durch welche eben die dem Lichtfelde widerstehenden Kräfte etwas geändert werden. Für Energieberechnungen kommt es aber hierauf gar nicht an. Es handelt sich vielmehr darum, in solchen Fällen, wo infolge mangelnder Symmetrie mit beträchtlichen, einseitigen Deformationen zu rechnen ist, diese bei der Wechselwirkung der Ionen zu berücksichtigen. Es kommt also nicht darauf an, wie groß die in der fertigen Verbindung vorhandene, durch Refraktionsänderungen meßbare Deformation ist, sondern wie groß die „Deformierbarkeit" des isolierten Ions ist. Diese Deformierbarkeit wird durch eine (oder mehrere) Konstante gemessen, die neben Ladung und Volumen (bzw. Abstoßungsexponenten $n$) in die Entwicklung der Energiefunktion $V$ nach Potenzen von $r^{-1}$ eingehen.

Die einfachste Art der Deformation ist die, welche durch ein homogenes elektrisches Feld $\mathfrak{E}$ erzeugt wird; dabei entsteht ein dem Felde proportionales, elektrisches Moment $\mathfrak{p} = \alpha\,\mathfrak{E}$ und eine Energie

$$W = \frac{\alpha}{2}\,\mathfrak{E}^2.$$

Die Konstante $\alpha$ ist ein Maß der Polarisierbarkeit des Atoms oder Ions.

Vom Standpunkte der älteren Atomtheorie, die mit quasielastisch gebundenen Elektronen operiert (z. B. in der Dispersionstheorie), ist diese Polarisierbarkeit ohne weiteres verständlich. Aber auch die Quantentheorie führt zu demselben Ergebnis. Hier ist allerdings eine Ausnahme vorhanden, nämlich das neutrale Wasserstoffatom (und die ebenso gebauten Ionen). Bei diesem erzeugt ein elektrisches Feld eine Zusatzenergie, die dem Felde proportional ist und davon herrührt, daß die im feldfreien Zustande (bei Vernachlässigung der Relativitätskorrektion) ruhende Kepplerellipse des Leuchtelektrons säkulare Bewegungen ausführt; im Spektrum entspricht dem der Starkeffekt der Wasserstofflinien. Bei allen anderen (nicht angeregten) Atomen aber bewegen sich die Elektronen des Atoms in einem nicht-coulombschen Zentralfelde und besitzen also auch ohne äußeres Feld bereits starke Perihelbewegungen. Die vom äußeren Felde erzeugte Zusatzenergie wird daher kein dem Felde proportionales Glied enthalten, da sich dieses wegmittelt, sondern die Form $W = \frac{\alpha}{2}\,\mathfrak{E}^2$ haben; es gibt also hier nur einen kleinen quadratischen Starkeffekt, wie ihn z. B. LADENBURG[19]) am Natriumatom beobachtet hat. Aus der Energie leitet sich das elektrische Moment durch Differenzieren ab; man erhält

$$\mathfrak{p} = \frac{dW}{d\mathfrak{E}} = \alpha\,\mathfrak{E},$$

wie wir oben angesetzt haben.

Leider ist man noch in keinem Fall in der Lage, die Konstante $\alpha$ aus Rechnungen am Atommodell abzuleiten und muß sich mit empirischen Bestimmungen begnügen. Hierfür ist seit langem das Verfahren bekannt, die mit $\alpha$ proportionale Refraktion zu messen. Bei neutralen Atomen oder Molekeln führt dies zu guten, eindeutigen Resultaten. Handelt es sich aber um die Polarisierbarkeit von Ionen, so liefert die optische Messung zunächst die Summe der $\alpha$-Werte aller vorhandenen Ionen und es entsteht die Aufgabe, die $\alpha$-Werte der einzelnen Ionen daraus abzuleiten. Soweit die Refraktionen sich tatsächlich additiv verhalten, genügt offenbar die Bestimmung des Absolutwerts von $\alpha$ für *ein* Ion, um die $\alpha$-Werte aller Ionen aus den gemessenen Summen zu finden. An Lösungen sind solche Messungen von HEYDWEILLER[20]) und WASASTJERNA[21]) ausgeführt wor-

den; FAJANS und JOOS[18]) benutzen daneben die Refraktionen der festen Salze. Die zur Bestimmung der Absolutwerte nötige Annahme besteht gewöhnlich darin, daß der $\alpha$-Wert der kleinsten Kationen, wie $H^+$, $Li^+$, neben dem der Anionen vernachlässigt wird. HEISENBERG und ich[21]) haben daneben noch ein ganz unabhängiges Verfahren eingeschlagen, das für einfache Metallionen direkt die einzelnen $\alpha$-Werte liefert. Es benutzt die Serienspektra, die bei der Neutralisation dieser Ionen durch Einfangung eines Elektrons ausgesandt werden. Würde das Ion, das hier als Atomrumpf gegenüber dem Leuchtelektron auftritt, starr sein, so müßte das Spektrum so lange fast genau mit dem des Wasserstoffatoms übereinstimmen, als das Elektron weit außerhalb des Rumpfes umläuft. Die tatsächlichen Abweichungen des gemessenen Spektrums vom Wasserstoffspektrum für solche äußere Bahnen liefern also ein Maß für die Polarisierbarkeit $\alpha$ des Rumpfes, d. h. des Ions. HEISENBERG und ich haben ferner gefunden, daß diese $\alpha$-Werte innerhalb gleichgebauter Ionenreihen einem einfachen Gesetze folgen. Verringert man nämlich die Atomnummer $Z$ der Ionen einer solchen Reihe (z. B. $O^{--}$, $F^-$, Ne, $Na^+$, $Mg^{++}$, $Al^{+++}$, $Si^{++++}$) sämtlich um dieselbe Abschirmungszahl $s$ und bildet damit die „effektive" Kernladungszahl $Z_{eff} = Z - s$, so wird $\alpha$ mit $Z_{eff}^{-3}$ proportional; dabei liegt $s$ sehr nahe an der Abschirmungszahl, die für die Darstellung der Röntgenterme brauchbar ist. Dies ist im Grunde nichts anderes als der schon in der alten Clausius-Mosottischen Theorie bekannte Satz, daß $\alpha$ die Dimension eines Volumens hat; denn in der Bohrschen Theorie sind die linearen Dimensionen der Atome mit $Z_{eff}^{-1}$ proportional. Die Figur zeigt diese Gesetzmäßigkeit; sowohl $Z_{eff}$ wie $\alpha$ sind in logarithmischer Skala aufgetragen, die Relation zwischen ihnen wird daher durch gerade Linien veranschaulicht.

Die Konstante $\alpha$ spielt noch in anderen Gebieten der Atomphysik eine Rolle; ich erinnere nur an die elektrische Deutung der VAN DER WAALSschen Kohäsionskräfte durch DEBYE und KEESOM[22]).

### 6. *Elektrische Energie der polaren Molekeln.*

Für unsere Theorie der chemischen Bindung müssen wir feststellen, welchen Einfluß die Polarisierbarkeit auf die Reihenentwicklung der quasipotentiellen Energie $V$ nach $r^{-1}$ hat; man sieht leicht, daß sie ein Glied der Ordnung $r^{-4}$ erzeugt. Fügt man dieses in den in der Kristalltheorie bewährten Gliedern hinzu, so bekommt man

$$V = \frac{e_1 e_2}{r} + \frac{a_4}{r^4} + \frac{a_n}{r^n},$$

wobei $a_4 = -\frac{1}{2}(\alpha_1 e_2^2 + \alpha_2 e_1^2)$ ist.

Die unmittelbarste Anwendung dieser Formel betrifft die Bildungsenergie der Dampfmolekeln binärer Salze, deren Struktur, wie wir schon oben bemerkten, wegen der einseitigen Richtung der Wechselwirkung merklich durch die Polarisierbarkeit der Ionen bedingt sein muß. Dieselbe Größe ist offenbar gleich der Differenz von Gitterenergie und Sublimationswärme. Da letztere von v. WARTENBERG und seinen Schülern[24]) für die Alkalihaloide gemessen worden ist, konnten HEISENBERG

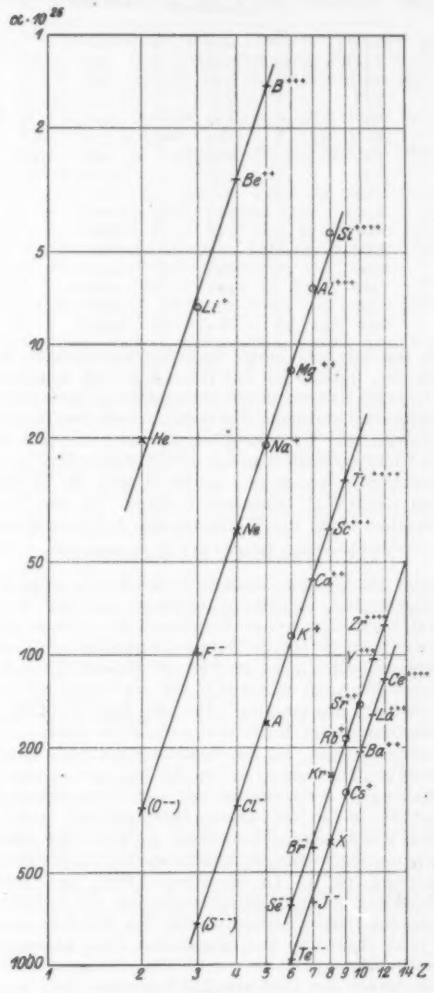


Fig. 1.

und ich[22]) die Theorie direkt an der Erfahrung prüfen. Das Ergebnis zeigt folgende Tabelle.

Die Übereinstimmung ist recht gut und liefert zugleich einen neuen, unabhängigen Beweis für die Richtigkeit der Gitterenergien der festen Salze.

Man kann auch viele andere Eigenschaften dieser Salzmolekeln berechnen, wie Trägheitsmoment, Schwingungszahl usw.; doch liegen keine Beobachtungen hierüber vor.

Tabelle III.
Bildungsenergie der Salzdämpfe.

| | Gitterenergie minus Sublimationswärme | Bildungsenergie berechnet |
|---|---|---|
| NaF . . . | 165 | 161 |
| NaCl . . . | 138 | 139 |
| NaBr . . . | 133 | 133 |
| NaJ . . . | 121 | 126 |
| KF . . . . | 149 | 140 |
| KCl . . . . | 123 | 124 |
| KBr . . . | 118 | 120 |
| KJ . . . . | 108 | 113 |
| RbF. . . . | 123 | 122 |
| RbCl . . . | 118 | 119 |
| RbBr . . . | 112 | 115 |
| RbJ . . . | 103 | 110 |
| CsF . . . . | 135 | 129 |
| CsCl . . . | 109 | 115 |
| CsBr . . . | 102 | 110 |
| CsJ . . . . | 94 | 105 |

Ehe ich noch einige weitere Anwendungen bespreche, möchte ich auf einen Einwand eingehen, den Herr NERNST in der neuen Auflage seines verbreiteten Lehrbuchs gegen die Kosselsche Theorie erhoben hat. Er behauptet, daß nach dieser z. B. im Chlorwasserstoff neben den Molekeln HCl auch dreiatomige Ionen der beiden Typen $H^+Cl^-H^+$ und $Cl^-H^+Cl^-$ auftreten mußten. In der Tat, berechnet man die Wärmetönung der Umsetzung

$$3\,H^+Cl^- = H^+Cl^-H^+ + Cl^-H^+Cl^-$$

unter der Annahme, daß die Ionen starre, geladene Kugeln sind, so sieht man leicht, daß der Wert Null herauskommt; im Gleichgewicht müßten also jene Ionen in großer Menge vorhanden sein, was doch sicherlich nicht der Fall ist. Natürlich beruht dieser Einwand wesentlich auf der Annahme der Starrheit; läßt man ihn fallen und führt die Deformierbarkeit der Ionen ein, so kommt etwas ganz anderes heraus. Da die Rechnung mit den punktförmigen $H^+$-Ionen, die in die Anionen merklich eindringen, zu unsicher ist, hat Herr HEISENBERG[25]) sie für NaCl-Dampf durchgeführt; er fand eine Wärmetönung von etwa 50 kcal und einen entsprechend winzigen Dissoziationsgrad (Größenordnung $10^{-8}$). In derselben Arbeit hat Herr HEISENBERG eine Betrachtung über die Existenz von elektrischen Momenten bei den Molekeln vom Typus $H_2O$ oder $CO_2$ angestellt; diese Momente bestimmen nach DEBYE[26]) die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante und sind von JONA[27]) experimentell nachgewiesen worden. Man erklärt sie gewöhnlich durch die Annahme, daß die drei Atome der Molekel ein Dreieck bilden, und es soll durchaus nicht behauptet werden, daß diese Annahme unrichtig sei, da manche Einzelheiten der ultraroten Banden für sie sprechen. Aber man kann zeigen, daß unter Umständen auch geradlinige Molekeln ein Moment haben können, da infolge der Deformation der Ionen eine asymmetrische Lage stabiler sein kann als die symmetrische. Beim Wasserdampf scheint nach neueren Rechnungen von Herrn HUND die Dreiecksform allerdings die stabilste zu sein. Jedenfalls kann man diese Fragen der Molekelstruktur mit unseren Methoden angreifen und bei vorsichtiger Benutzung der empirischen Daten, besonders der Absorptionsbanden, zu recht sicheren Ergebnissen kommen.

Ein weites Anwendungsgebiet dieser Art bilden die Radikalionen wie $CO_3$, $NO_3$, $ClO_3$, $SO_4$ usw., deren Eigenschwingungen Herr SCHAEFER mit seinen Schülern[28]) untersucht hat. Man erkennt diese Schwingungen daran, daß sie in allen Verbindungen des Ions fast unverändert auftreten, handle es sich dabei um gelöste Körper oder feste Kristalle. In letzterem Falle ist es überdies manchmal möglich, die Schwingungsrichtungen dadurch festzulegen, daß man polarisiertes Licht mit einer gegen die Kristallstruktur festgelegten Schwingungsebene benutzt. Eine umfassende, theoretische Studie dieser Schwingungen von Molekeln und Kristallen auf Grund der Symmetrieverhältnisse hat auf meine Anregung Herr BRESTER[29]) durchgeführt. Nach dieser Arbeit ist es möglich, für jede gegebene Struktur Anzahl und Richtung jeder Eigenschwingung vorherzusagen. Daß man auch darüber hinaus zu quantitativen Aussagen kommen kann, zeigt eine Arbeit von Herrn KORNFELD[30]) über die Schwingungen des $CO_3$-Ions; dieses wird dabei als gleichseitiges Dreieck von $O^{--}$-Ionen mit dem $C^{++++}$-Ion im Mittelpunkt angenommen. Die Dimensionen des Dreiecks kennt man ungefähr aus der Röntgenaufnahme des Kalkspats ($CaCO_3$); ferner weiß man aus den Messungen SCHAEFERS, daß von den drei optisch wirksamen Eigenschwingungen der $CO_3$-Gruppe die mit der kleinsten und der größten Wellenlänge parallel zur Dreiecksebene schwingen, die mittlere senkrecht dazu. Genau das folgt bei vernünftiger Wahl der Polarisierbarkeit $\alpha$ der O-Ionen aus KORNFELDS Theorie, und auch die numerische Übereinstimmung der Schwingungszahlen ist nicht schlecht.

Ähnliche Rechnungen sollen für andere Radikalionen gemacht werden, wo allerdings das empirische Material nicht so vollständig ist.

Als letztes Anwendungsgebiet unserer Theorie erwähne ich die feineren Eigenschaften der Kristalle, nämlich die, bei denen die Polarisierbarkeit der Ionen ins Spiel kommt. Hierzu gehören gewisse Elastizitätskonstanten, die Piezoelektrizität u. a. Das vollständigste Beobachtungsmaterial hierüber ist für die Zinkblende (ZnS) vorhanden; Herr HECKMANN hat die theoretische Bearbeitung dieses Kristalls in Angriff genommen und es scheint, daß seine Ergebnisse wertvolle Aufklärungen über die Tragweite unserer Annahmen liefern werden.

*Schlußbetrachtung.* Wie diese Theorie sich weiter entwickeln muß, ist wohl ohne weiteres klar. Ausgehend von der streng polaren Verbindung wird man allmählich zu solchen Molekeln fortzuschreiten suchen, deren polarer Charakter nicht so ausgeprägt ist; dabei wird man nach Einführung der einseitigen Deformierbarkeit (Polarisierbarkeit) $\alpha$

der Reihe nach verwickeltere Arten der Deformation ins Auge fassen. Es gibt Fälle, wo solche optisch faßbar sind, z. B. wird bei starken elektrischen Feldern das elektrische Moment nicht nur linear, sondern quadratisch vom erregenden Felde abhängen (oder, was dasselbe ist, $\alpha$ wird nicht konstant, sondern eine Funktion des Feldes sein). Das äußert sich nach POCKELS und VOIGT[31]) bei azentrischen Kristallen in einer dem Felde proportionalen elektrischen Doppelbrechung. Die Konstanten dieser Erscheinung, für die allerdings nur spärliches Beobachtungsmaterial vorliegt, müssen dann in die chemische Bindungsenergie eingeführt werden.

Man darf erwarten, daß man auf diesem Wege noch ein ganzes Stück weiterkommen wird. Bis zu den extrem nicht polaren Verbindungen, deren einfachste die Wasserstoffmolekel ist, wird man aber natürlich mit diesen Methoden niemals vordringen; man kann eben nicht den Gesamtverlauf einer Funktion mit Hilfe einer Potenzreihe um einen bestimmten Punkt (hier der Entwicklung von $V$ nach Potenzen von $r^{-1}$) beherrschen. Für solche Molekeln ist erst von der Weiterbildung der Quantentheorie ein Ergebnis zu erhoffen.

Soll man aber deswegen, wie Herr NERNST zu wünschen scheint, auf den schon jetzt gangbaren, von KOSSEL gewiesenen Weg verzichten? Mir scheint das eine Beschränkung, die durch nichts gerechtfertigt wird. Der Widerstand, den unsere dynamische Theorie der polaren Molekeln bei manchen Chemikern findet, ist leicht verständlich. Es fehlt das allen geläufige Bild der festen gerichteten Valenzen (aber die Wernersche Koordinationslehre und andere Erfahrungen haben ja schon lange die festen Valenzen erschüttert) und schon bei einfachen Verbindungen gibt es recht verwickelte Rechnungen unter Benutzung physikalischer Messungen, wie Röntgenstrukturen, ultrarote Schwingungen und Bandenspektren (aber die chemische Bindungsenergie ist eben nur eine von zahlreichen, gleichberechtigten Konstanten der Molekel, und was das Rechnen betrifft, so sind wir theoretischen Physiker ja dazu da). Bei manchen scheint die Ablehnung unserer Gedankengänge auf dem unbehaglichen Gefühl zu beruhen, daß die Grundannahmen unserer Theorie eigentlich zu simpel sind; mit elektrostatischen Anziehungen, Deformationen u. dgl. hätte man ja im Grunde schon vor der Entstehung der quantentheoretischen Atomphysik rechnen können. Hiergegen ist zu sagen, daß erst die Atomphysik die begrifflichen Grundlagen und vor allem sicheres Zahlenmaterial geliefert hat; ohne Begriff und Größe der Ionisierungsspannung, ohne Analyse der Bandenspektren usw. wäre eine Prüfung unserer Theorie undenkbar. Darum dürfen wir hoffen, daß jedes neue Resultat der Atomphysik auch der Lehre vom Molekelbau zugute kommen wird.

*Literatur:*


1) M. BORN und W. HEISENBERG, Ann. d. Phys. **74**, 1. 1924.
2) H. A. KRAMERS, Zeitschr. f. Phys. **13**, 343. 1923. H. A. KRAMERS und W. PAULI, Zeitschr. f. Phys. **13**, 351. 1923.
3) C. G. DARWIN und R. H. FOWLER, Phil. Mag. **44**, 450 u. 823. 1922; Proc. Cambridge Phil. Soc. **21**, 391 u. 730. 1923; R. H. FOWLER, Phil. Mag. **45**, 1 u. 497. 1923.
4) M. POLANYI, Zeitschr. f. Phys. **1**, 337. 1920; K. F. HERZFELD, Zeitschr. f. Phys. **8**, 132. 1922.
5) Demnächst im Paschen-Heft der Ann. d. Phys. veröffentlicht.
6) W. PAULI JUN., Ann. d. Phys. **68**, 177. 1922; F. F. NIESSEN, Diss. Utrecht 1922.
7) H. D. SMYTH, Proc. Roy. Soc. **105 A**, 116, 1923.
8) W. HEISENBERG, Zeitschr. f. Phys. **26**, 291. 1924.
9) M. BORN, Zeitschr. f. Phys. **26**, 379. 1924.
10) W. KOSSEL, Ann. d. Phys. **49**, 229. 1916.
11) E. MADELUNG, Phys. Zeitschr. **19**, 524. 1918; P. P. EWALD, Ann. d. Phys. **64**, 253. 1921.
12) M. BORN, Verh. d. Dtsch. phys. Ges. **21**, 13 u. 679. 1919; K. FAJANS, Verh. d. Dtsch. phys. Ges. **21**, 539 u. 549. 1919.
13) F. FRANCK, Zeitschr. f. Phys. **5**, 428. 1921.
14) O. OLDENBERG, Zeitschr. f. Phys. **25**, 136. 1924.
15) P. D. FOOTE und F. L. MOHLER, J. Amer. Chem. Toc. **42**, 1832, 1920. — P. KNIPPING, Zeitschr. f. Phys. **7**, 328. 1921.
16) H. G. GRIMM, Zeitschr. f. phys. Chem. **102**, 113, 141 u. 504. 1922; H. G. GRIMM und K. F. HERZFELD, Zeitschr. f. Phys. **16**, 77. 1923.
17) H. G. GRIMM und K. F. HERZFELD, Zeitschr. f. Phys. **19**, 141. 1923.
18) K. FAJANS, Die Naturwissenschaften **10**, 165. 1923. K. FAJANS und G. JOOS, Zeitschr. f. Phys. **23**, 1. 1924.
19) R. LADENBURG, Zeitschr. f. Phys. **28**, 51. 1924.
20) A. HEYDWEILLER, Ann. d. Phys. **41**, 499. 1913; **48**, 681. 1915; **49**, 653. 1916; Verh. d. Dtsch. phys. Ges. **16**, 722. 1914.
21) J. A. WASASTJERNA, Comm. Fenn. **1**, S. 7, Nr. 37. 1913.
22) M. BORN und W. HEISENBERG, Zeitschr. f. Phys. **23**, 388. 1924. Siehe ferner D. R. HARTREE, Proc. Cambridge Phil. Soc. **22**, 409, 464. 1924; Proc. Roy. Soc. A. **106**, 552. 1924.
23) P. DEBYE, Phys. Zeitschr. **21**, 178. 1920; W. H. KEESOM, Phys. Zeitschr. **22**, 129. 1921.
24) H. v. WARTENBERG und TH. ALBRECHT, Zeitschr. f. Elektrochem. **27**, 162. 1921; H. v. WARTENBERG und H. SCHULZ, Zeitschr. f. Elektrochem. **27**, 568. 1921.
25) W. HEISENBERG, Zeitschr. f. Phys. **26**, 196. 1924.
26) P. DEBYE, Phys. Zeitschr. **13**, 97. 1912.
27) M. JONA, Phys. Zeitschr. **20**, 14. 1919.
28) CL. SCHAEFER und M. SCHUBERT, Ann. d. Phys. **50**, 283. 1916; Zeitschr. f. Phys. **7**, 297, 309 u. 313. 1921; CL. SCHAEFER und M. THOMAS, Zeitschr. f. Phys. **12**, 330. 1923.
29) C. J. BREST ER, Diss. Utrecht 1923; Zeitschr. f. Phys. **24**, 324. 1924.
30) H. KORNFELD, Zeitschr. f. Phys. **26**, 205. 1924.
31) F. POCKELS, Neues Jahrb. f. Min. Beil. **7**, 203 u. 224. 1890; Gött. Abh. **39**. 1893; W. VOIGT, Magneto- u. Elektrooptik (Leipzig 1908), IX. Kap.

# Bericht über den Internationalen Amerikanistenkongreß im Haag vom 12. bis 16. August und in Göteborg vom 20. bis 26. August 1924.

Von K. TH. PREUSS, Berlin.

*Äußerer Verlauf.*

Der Internationale Amerikanistenkongreß in London 1912 war der letzte auf europäischem Boden gewesen. Der 19. hatte 1916 in Washington und der 20. 1922 in Rio de Janeiro getagt. Es war daher ein dringendes Verlangen vorhanden, die bisherige Vernachlässigung Europas wieder gutzumachen, und als nun auf dem Kongreß in Rio zwei Einladungen aus dem Haag und aus Göteborg vorlagen, entschloß man sich zu dieser an sich durch nichts gerechtfertigten doppelten Tagung, die ihr Gegenstück nur einmal in der aus lokalen Gründen eingetretenen Doppelung 1910 in Mexiko und in Buenos Aires gehabt hat.

Indessen muß man anerkennen, daß sowohl die Teilnahme an jedem der beiden Kongreßorte die Zahl der Besucher der europäischen Vorkriegskongresse ungefähr erreichte, wenn nicht übertraf, es waren etwa 100 Gelehrte aus fremden Ländern, ungerechnet die Holländer bzw. Schweden, wie auch die Zahl der Vorträge erstaunlicherweise im Haag der eines Vollkongresses beinahe gleichkam — es waren 34 —, in Göteborg sie aber bei weitem übertraf (67). Letzterer Ort wurde überhaupt von den meisten als der eigentliche Kongreß angesehen, was neben der Werbearbeit des dortigen Generalsekretärs ERLAND VON NORDENSKIÖLD, der sich durch seine südamerikanischen Reisen und Arbeiten einen Namen gemacht hat, darauf zurückzuführen ist, daß zufällig unter den Besuchern mehr Interessenten für die Eskimo und für Mittel- und Südamerika vorhanden waren, was in Göteborg behandelt werden sollte, als für die im Haag vorgesehenen Gebiete: Nordamerika, Antillen und Guyana. Es war geradezu auffällig, daß auf das ganze nordamerikanische Indianergebiet, abgesehen von einzelnen sprachlichen, nur 5 Vorträge fielen.

Den Hauptanteil an Besuchern stellten Deutschland und Österreich, die zusammen im Haag ein Viertel und in Göteborg ein Drittel der fremden Teilnehmer ausmachten (16 und 9 bzw. 23 und 6). Fast kein deutscher Amerikanist war zurückgeblieben, was in der bisherigen Absperrung von der übrigen Welt seine Erklärung findet. Den Gästen aus valutaschwachen Ländern war freie Fahrt und teilweise freier Aufenthalt gewährt, soweit sie sich darum bewarben, und davon war von den Deutschen weitgehender Gebrauch gemacht worden, während von Frankreich (4 bzw. 8), Belgien und Italien trotzdem nur ein paar gekommen waren, aus dem einfachen Grunde, weil die Zahl der Amerikanisten dort immer sehr gering gewesen ist. Die Deutschen und Österreicher haben aber nicht nur durch ihre Gegenwart, sondern mehr noch durch ihre wissenschaftliche Tätigkeit zum Gelingen des Kongresses beigetragen, was schon daraus erhellt, daß nicht weniger als zwei Fünftel von allen Vorträgen (40 unter 100) in deutscher Sprache gehalten wurden. Dagegen kam nur die englische Sprache auf (42 Vorträge), und zwar nur deshalb, weil die meisten Holländer, Schweden und Dänen an Stelle der nicht zugelassenen eigenen Sprachen die englische, seltener die französische gewählt hatten. Die deutsche wurde nur in zwei Fällen von Angehörigen fremder Nationen angewandt. Nächst den Deutschen und Österreichern waren die Nordamerikaner am meisten vertreten (21 bzw. 15), während die Engländer nur sehr wenige Teilnehmer (4 bzw. 6) gestellt hatten. Ein paar sind auch aus Canada zu verzeichnen. Die mittel- und südamerikanischen Staaten waren nur vereinzelt und dann sehr schwach vertreten, ebenso Spanien, Finnland (1), Rußland (3), China (1) und Japan (1) durch vereinzelte Besucher. Verhältnismäßig zahlreich waren die Dänen, namentlich in Göteborg (4 bzw. 11), die fast ausschließlich an der Eskimoforschung beteiligt waren.

Die Deutschen und Österreicher sind ebenso herzlich aufgenommen worden wie die Angehörigen der anderen Nationen, ja sie genossen aus den angegebenen Gründen mehr Gastfreundschaft als diese, und schon aus der Art, wie man sich um ihr Hinkommen bemüht hat, geht die Wertschätzung der deutschen wissenschaftlichen Tätigkeit hervor. Dem entsprach auch die übliche Ernennung von Vizepräsidenten, in der man sich im wesentlichen von der wissenschaftlichen Bedeutung innerhalb der Amerikanistik leiten ließ.

Im ganzen Verlauf des Kongresses ist mir kein Mißklang zu Ohren gekommen, der auf politische Verhältnisse zurückzuführen wäre. Neben angestrengter Tätigkeit, namentlich in Göteborg, gab es eine Menge festlicher Veranstaltungen teilweise in glänzender Ausführung, die solchen in der Vorkriegszeit in nichts nachgaben. Ich erwähne z. B. die von der Stadtverwaltung im Haag und in Göteborg veranstalteten Festessen, an welch letzterem auch das schwedische Kronprinzenpaar teilnahm, nachdem es sein Interesse für den Kongreß durch seine Gegenwart in den Sitzungen des letzten Tages bezeigt hatte, ferner Empfänge beim amerikanischen und englischen Gesandten im Haag, Exkursionen nach Leiden, Haarlem, Amsterdam, wo sich eine längere Dampferfahrt im Hafen und nach Zaandam anschloß, und in die Inselwelt an der Küste Göteborgs usw. Überall war ein reger Verkehr zwischen den Gelehrten der verschiedenen Länder im Gange, ohne daß eine Absonderung irgendwie zu bemerken war. Zum Schluß fuhr eine Anzahl Kongreßmitglieder durch die Seenkette nach Stockholm, während ein anderer Teil, besonders Deutsche, es vorzog, über Kopenhagen heimzufahren, wo sich ein dänisches Komitee unserer zwei Tage lang in herzlichster Weise annahm.

Für den nächsten Kongreß wurde von SAVILLE (New York) eine Einladung nach Philadelphia im Jahre 1926 und von CALLEGARI (Verona) eine nach Genua für 1928 überbracht. Diese Orte würden dem gewöhnlichen Gebrauch, alle zwei Jahre abwechselnd in Europa und Amerika zu tagen, entsprochen haben. Doch wurde in Anbetracht der schlechten ökonomischen Verhältnisse in Europa beschlossen, auch den nächsten Kongreß 1926 in Europa der Einladung entsprechend in Italien, und zwar, wenn angängig, in Rom, abzuhalten, da die Beteiligung von seiten der europäischen Gelehrten an einem amerikanischen Kongreß nach zwei Jahren wahrscheinlich noch nicht möglich sein würde.

*Wissenschaftlicher Teil.*

Über die wissenschaftliche Seite läßt sich bei der Fülle der Vorträge und der Teilung in Sektionen (im Haag 4, in Göteborg 2) nur oberflächlich auf Grund allgemeiner Eindrücke berichten. Die freigebige Verteilung neuer Abhandlungen und Bücher, Erzeugnissen besonders der fleißigen Schweden, erhöhte den Eindruck der geleisteten Arbeit.

Die Amerikanistik weist noch immer so viele und große Lücken auf, die durch die Auffindung neuen

Materials ausgefüllt werden können, daß trotz aller Fortschritte jeder weitere Baustein das meiste Interesse der Kenner erregt, wenn auch die methodische Synthese bereits einen großen Raum einnimmt. Leider kann die deutsche Wissenschaft gegenwärtig nicht daran denken, sich an der Arbeit unter den Indianern selbst oder mit dem Spaten zu beteiligen. Es erklärt sich daraus, daß der deutsche Anteil an der Materialbeschaffung dieses Mal gering war. Nur die österreichischen Forscher PATER KOPPERS (Mödling bei Wien) und GUSINDE (Santiago, Chile) hielten eine Anzahl Vorträge über ihre Reisen unter den Feuerländern, über deren Feste, Mythologie und Weltanschauung, wodurch das geistige Leben dieser in den äußersten Süden gedrängter, auf primitiver Stufe stehender Indianer erst jetzt in vollem Umfang bekannt wird. Namentlich erregte die Entdeckung der Vorstellung einer höchsten Gottheit unter ihnen, die sich von den übrigen Geistern und ihren Zauberkulten scharf unterscheidet, besonderes Interesse. Auch meine Vorträge über die einen Naua-Dialekt sprechenden Mexicano in Durango (Mexiko), deren Texte ich mit entsprechenden Vorstellungen der alten Mexikaner vergleichen konnte, und über das Verbum in der Sprache der Kágaba-Indianer am Nordabhang der Sierra Nevada de Santa Marta in Kolumbien, das sich — ganz den modernen Anforderungen entsprechend — auf meinen Textaufnahmen unter ihnen aufbaute, brachten neues Material von meinen Reisen. Schließlich nahm auch K. SAPPERS Vortrag über Brujeria (Zauberwesen) in Guatemala großenteils auf eigene Forschungen Bezug.

Da die „Feld"-Forschungen in Nordamerika fast völlig ausfielen, so ist auch von den fremden Gelehrten nicht allzuviel darüber zu berichten, obwohl manches in den Broschüren stand, auf das ich jedoch nicht eingehen kann. Bedeutende Ergebnisse haben die ethnologischen und archäologischen Forschungen der sog. 5-Thule-Expedition in Baffinsland (Ponds Inlet) und der Küste des nordöstlichen Amerika gehabt, worüber die beiden jungen Forscher BIRKET-SMITH und MATHIASSEN, beide aus Kopenhagen, berichteten. Ihre Sammlungen, in denen sich merkwürdigerweise Stücke von groben Tongefäßen finden, konnten wir nachher im Nationalmuseum in Kopenhagen besichtigen. Von Mittelamerika sind besonders die Ausgrabungen zu erwähnen, die MORLEY (Washington) im Auftrag des Carnegie-Institutes in Washington im Jahre 1924 in Chichen Itza in Yucatan vorgenommen hat. Es sind dort großartige Ruinen aus der Zeit der Blüte des neuen Mayareiches von 1100—1300 auszugraben, Säulenhallen, Reliefs und steinerne Tierfiguren, zumal prachtvolle Klapperschlangen. Vorläufig ist der Anfang in der Ecke eines Säulenhofes „des Tempels der 1000 Säulen" gemacht worden, der aber bereits zu den höchsten Erwartungen berechtigt. Die Ausgrabungen, von denen MORLEY eben herkam, sollen möglichst sofort 15 bis 20 Jahre lang fortgesetzt werden. Aus Westindien erwähne ich den Vortrag des Dänen G. HATT (Archaeology of the Virgin Islands, West India), der dort in letzter Zeit umfangreiche Ausgrabungen besonders in St. Thomas und St. Croix vorgenommen hat, die ich später in Kopenhagen sehen konnte. Es waren darunter bemerkenswerte primitive Steinritzungen.

Aus Südamerika ist der Vortrag von ALDEN MASON (New York), Die archäologischen Forschungen aus der Umgegend von Santa Marta, hervorzuheben. Namentlich sind hier die alten Steinwege durch die Wälder bemerkenswert, ferner Steinringe, augenscheinlich als Unterbau von runden Tempeln, Cansamarias, wie sie noch heute bei den Kágaba vorkommen, und Tonfigürchen, z. B. eine Person auf einem Stühlchen, dessen Rückwand zu einer Lehne ansteigt wie bei Holzstühlchen der westindischen Inseln. Sehr schöne kinematographische Bilder zeigte G. BOLINDER (Stockholm) zu seinem Vortrag über die von ihm besuchten Stämme im nordöstlichen Kolumbien: Ijka, Goajiro, Motilone, Chimila usw.

Die Vorträge aus Spezialforschungen über Museumsobjekte usw. muß ich übergehen. Selbst die wichtigen Untersuchungen MORLEYS (Washington) über neue Daten in der Mayachronologie, die sich auf die Ruinenstädte des alten Reiches beziehen, sowie SPINDENS (Cambridge, Mass.) Ausführungen über die Kultur der Chorotegen, bei denen er z. B. einen regen Handel mit den Maya (vgl. z. B. in Chichen Itza gefundene Goldsachen) feststellte, THOMAS GANNS (London) Vortrag Maya jades, wo ein verschlepptes Mayastück aus Teotihuacan nachgewiesen wurde, kann ich nur summarisch anführen.

Zwischen einer Reihe deutsch-österreichischer Forscher und den Ethnologen anderer Nationen besteht ein gewisser Gegensatz in der Forschung durch die sog. Kulturkreislehre. Im Sinne dieser Bewegung hielten sich die beiden Vorträge von Pater W. SCHMIDT (Mödling bei Wien): Die Bedeutung der Genitivstellung für den Sprachbau in den Sprachen von Nord- bzw. Mittel- und Südamerika. Hier wird nämlich ein hervorragendes Merkmal der Sprachen: die Stellung des Genitivbestimmungswortes vor bzw. nach dem untergeordneten Begriff, was im wesentlichen umgekehrt der Suffigierung bzw. Präfigierung der Possessiva und sog. Präpositionen entspricht, in Beziehung zu den mutterrechtlichen und vaterrechtlichen Kulturen gesetzt. Die Spracheigentümlichkeit gehört also nach seiner Auffassung zu dem ganzen Kulturbesitz dieser beiden nach der sozialen Struktur so bezeichneten Kulturen, und es ist nun möglich, die Fäden der Zusammengehörigkeit psychologisch zu untersuchen. Diese Methode der Forschung, die „exakt historisch" alle gleichen Erscheinungen nur einmal in der ganzen Welt entstehen läßt, begegnete einem achtungsvollen Schweigen der Amerikanisten.

Die Amerikanisten sind im übrigen bei der alten Methode geblieben, das geographisch Aneinandergrenzende in bezug auf Wanderungen, Entlehnungen und historische Beziehungen zu prüfen. Der Vortrag von BOGORAS (Petersburg): Early migration from Asia to America führte z. B. eine neue Hypothese über die Herkunft der Eskimo, nämlich die von Asien über die Behringstraße, ein, nachdem früher die Urheimat von einigen nach Alaska, von anderen an die Hudsonbai bzw. an den Coronationgolf verlegt war. Auch zu dieser Frage nahm der Kulturkreistheoretiker KÖNIG (Köln) in einem Vortrage: Gedanken zur Frage nach der Urheimat der Eskimo Stellung, indem er die Kulturgüter in dem Gebiet der Eskimo zunächst als nicht einheitlich nachzuweisen versuchte und dann das Zusammengehörige sonderte, aber ohne zu einem bestimmten Ergebnis zu kommen, wenn man nicht die Hindeutungen auf Australien als solches auffassen sollte.

Ein anderes Gebiet, für dessen Kulturentstehung besonders Interesse herrscht, sind die Anden mit ihren hohen Kulturen. Diesem Thema war in allgemeiner Sitzung der erste Vortrag in Göteborg von RIVET (Paris) gewidmet: Les éléments constitutifs des civilisations du nord-ouest de l'Amérique du Sud. Darin werden dem östlichen Tiefland, besonders den Caraibenstämmen, sehr viel Kulturelemente zugeschrieben, die über

Kolumbien und Ekuador nach Peru gekommen sein sollen, wie die Goldgußtechnik, besondere Formen von Steinbeilen, Lippenpflöcken, Wurfbretter, Trophäenköpfe usw. Andererseits sei das älteste Bevölkerungselement, die Uru, sprachlich den Aruakstämmen verwandt, die ebenfalls dem östlichen Tieflande angehören. Ein weiterer Kulturstrom sei von Norden, von Mexiko und Mittelamerika gekommen, wie z. B. die dreifüßigen Gefäße, während der Gebrauch der Metalle umgekehrt von Süden nach Norden gewandert sei. Solchen allgemeinen Betrachtungen gegenüber wird man nicht viel einzuwenden haben, wenn auch der Weg z. T. umgekehrt, nämlich von den Anden ostwärts gewesen sein kann, z. B. in bezug auf die Goldtechnik. Dagegen begegnete ein anderer allgemeiner, die Herkunft von Kulturen beleuchtender Vortrag von MAX UHLE (Quito): Der mittelamerikanische Ursprung der Moundbilder und Pueblo-Zivilisationen, schweren Bedenken, weil er nun auch in Nordamerika starke Einflüsse der Mayakultur wahrzunehmen glaubt, wie er dieselbe Ansicht in früheren Arbeiten für die südamerikanischen Kulturen bis zum Süden von Peru aufgestellt hat.

In der allgemeinen Schlußsitzung kam endlich FRANZ BOAS (New York) in seinem Vortrage: Relations between America and the Old World auf die geringen Ähnlichkeiten und andererseits die fundamentalen Unterschiede zu sprechen, die sich seit den 10 000 Jahren nach Ablauf der Eiszeit in Amerika im Vergleich zur alten Welt ausgebildet haben. Die wesentlichen Kulturelemente, wie Ackerbau, Töpferei, Zähmung des Truthahns und Llamas usw. denkt er sich mit Recht selbständig entstanden und schreibt nur dem Nordwesten altweltliche Einflüsse zu. Unter den unbedeutenden, sonst eingeführten Einzelheiten erwähnte er z. B. die polynesische Musik. BOAS hielt somit im wesentlichen die früheren Vorstellungen aufrecht, obwohl namentlich die Kulturkreistheoretiker Amerika jetzt in ganz anderem Lichte erscheinen lassen wollen.

Alle Vorträge des Kongresses waren im wesentlichen historisch eingestellt, d. h. man hatte die Überzeugung, daß selbst religiöse Erscheinungen an verschiedenen Orten Amerikas nicht bloß psychologischen Erklärungen unterliegen, sondern Glieder einer Entwicklung darstellen, der man vor allem durch geschichtliche Beziehungen nachgehen und aus der ganzen Kultur erklären müsse. Deshalb stieß der Vortrag von DANZEL (Hamburg): Die altmexikanische Magie im Lichte der neuen religionsvergleichenden und völkerpsychologischen Forschung auf Widerspruch und teilweise Ablehnung. Denn die altmexikanische Magie wurde nicht in sich als Ganzes erfaßt, sondern durch flüchtigen Vergleich mit allen möglichen altweltlichen Erscheinungen psychologischen Gesetzen unterworfen.

Es sei nun noch ein flüchtiger Blick auf einige der bemerkenswert zahlreichen allgemeinen Vorträge über Religion geworfen. Neu und interessant war z. B. der Gesichtspunkt, den STERNBERG (Petersburg) in seinem Vortrag: The Idea of divine election in shamanism entwickelte. Er konnte nämlich aus den persönlichen Berichten von Schamanen der Amurvölker, auch der Burjäten und Jakuten über die Erlangung ihrer schamanistischen Fähigkeiten nachweisen, daß der Geist, der sie mit der Kraft begabt, sie auf mannigfache Art auserwählt, ob sie wollen oder nicht, daß er ihre Liebe haben will, und daß sogar Zeremonien der Vereinigung mit dem Geist vorkommen, die dem Ritus der Trauung zwischen Mann und Frau entsprechen. STERNBERG glaubt diese Vorstellung auch an der amerikanischen Nordwestküste feststellen zu können und weist auf angeblich entsprechende Vorkommnisse in den niedrigen sowohl wie in höheren Religionen hin. Indessen ist die Allgemeingültigkeit schwerlich anzunehmen.

Mein eigener Vortrag über Heilbringer und Kulturentstehung in den Anschauungen der Indianer geht von der Auffassung aus, daß die Urzeit, in der die Menschen geschaffen wurden und ihre Kulturgüter erhielten, einfach ein Spiegelbild der Gegenwart, besonders ihrer religiösen und sozialen Einrichtungen ist, weshalb auch der Häuptling vielfach ein Abbild des ersten Menschen oder sonstigen von der obersten Gottheit gesandten Heilbringers ist. Infolgedessen wird auch dem Wirken des Heilbringers, weil darin eine lange Entwicklung liegt, ein langer Zeitraum zugemessen, woraus bei manchen Stämmen mythische, aus heiligen Zahlen und Perioden bestehende Daten entstehen, denen man sich hüten muß, irgendwie einen historischen Wert beizumessen.

Unter den Vorträgen zur Entdeckungsgeschichte ist der von SOFUS LARSEN (Kopenhagen), über die Entdeckung der nordamerikanischen Küste durch eine dänische Expedition um das Jahr 1473, also 20 Jahre vor der Entdeckung durch Columbus, geeignet, besonderes Aufsehen zu erregen. Durch Heinrich den Seefahrer, der mit Erich von Pommern verwandt war, bestand eine Verbindung zwischen Portugal und Dänemark. Nach des ersteren Tode wurde die Verbindung durch Alfons den Fünften aufrechterhalten, auf dessen Anregung Christian I. 1472 eine Expedition zur Entdeckung neuer Inseln und Länder im nordatlantischen Ozean aussandte. Ein Bericht über diese Expedition von Joao Vaz Corte Reale blieb geheim, wurde aber von Olaus Magnus in seiner Geschichte benutzt. Danach hat die Ehre der Entdeckung Amerikas, das den Namen Torsklandet erhielt, der Däne John Scolus. — Ein Buch darüber von LARSEN soll Anfang Oktober dieses Jahres in dänischer und englischer Sprache unter dem Titel: The Discovery of North America twenty years before Columbus herauskommen.

Zum Schlusse möchte ich noch ein paar Worte der neu aufgestellten amerikanischen Abteilung des Göteborg-Museums widmen, das von den Kongreßmitgliedern eines Nachmittags, wo die Sitzungen ausfielen, gemeinsam besichtigt, aber auch sonst stark besucht wurde, namentlich wegen der Sammlungen schwedischer Expeditionen nach Südamerika, vor allem ERLAND NORDENSKIÖLDS, GUSTAV BOLINDERS, RAFAEL KARSTENS usw. Als Ganzes waren die Sammlungen nicht umfangreich, auch fehlte Nordamerika. Die ernste Arbeit aber, die der ganze Kongreß atmete, bildete auch die Grundstimmung in dem Museum. Es war kein Raritätenkabinett, keine prunkvolle Schaustellung für die Unterhaltung des großen Publikums, sondern eine anschauliche, wissenschaftlich gegliederte Darstellung der Kultur, die dem Kenner ebensoviel bot als dem Laien. Museumstechnisch waren dafür die kaum mehr als mannshohen flachen Schränke neben niedrigen Vitrinen bemerkenswert, die den Inhalt deutlich sichtbar machten, ohne hier und da eine annehmbare Fülle zu scheuen, und die Ausnutzung der Höhe des Raumes durch Galerien, die an den Wänden entlang liefen. Besonders belehrend waren die gesondert ausgestellten Serien von Photographien, die zur Veranschaulichung wie zur Ergänzung des Ausgestellten dienten. Alles in allem berührte die Harmonie zwischen Forschung und Belehrung auch im Hinblick auf die für beides aufgewandten Mittel sehr wohltuend.

# Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

## Die Anregungs- und Ionisierungsspannungen der Edelgase.

Von den Edelgasen ist bisher das Helium das einzige, für welches sich die Anregungsspannungen und die Ionisierungsspannung aus dem Serienspektrum berechnen lassen und daher genau bekannt sind. Beim Neon ist zwar das optische Spektrum durch PASCHEN in ein System von Serien aufgelöst, doch fehlen hier noch die im extremen Ultraviolett liegenden Linien und damit der dem Normalzustande des Neonatoms entsprechende Serienterm, welcher für die Berechnung der Anregungs- und Ionisierungsspannungen nötig ist. Bei den schwereren Edelgasen fehlt eine befriedigende Seriendarstellung ihrer komplizierten Spektren noch vollständig. Vor einiger Zeit habe ich mit Hilfe eines für die Edelgase besonders geeigneten Verfahrens (Zählung der nach Zusammenstößen mit der Geschwindigkeit Null zurückbleibenden Elektronen) die Anregungs- und Ionisierungsspannungen von Neon und Argon gemessen[1]). Neuerdings habe ich diese Messungen in zwei Richtungen erweitert. Zunächst wurde in einer mit gemeinsam Herrn R. K. KLOPPERS durchgeführten Untersuchung dasselbe Verfahren auf Krypton und Xenon angewandt, für welche bisher nur vorläufige Messungen der kritischen Spannungen von Frl. H. SPONER vorlagen[2]). Hierbei wurde an Stelle des früher benutzten Glühdrahtes eine Äquipotentialoxydkathode als Elektronenquelle benutzt. Die auf diese Weise in Neon und Argon gefundenen Werte bestätigten die Resultate der früheren Messungen. Für Krypton konnten vier, für Xenon drei Anregungsspannungen gemessen werden, von denen anzunehmen ist, daß sie, ähnlich wie es früher beim Neon gezeigt ist, nicht einzelnen Termen, sondern Gruppen von nahe zusammenliegenden Termen entsprechen.

Ferner wurde, gemeinsam mit Herrn J. C. SCHARP DE VISSER, die Richtigkeit des Absolutwertes der Ionisierungsspannung des Neons dadurch kontrolliert, daß mit Hilfe einer kürzlich beschriebenen Anordnung[3]) die Intensität verschiedener Neonlinien in ihrer Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der stoßenden Elektronen gemessen wurde. Die auf diese Weise erhaltenen Werte der Anregungsspannungen der Linien 6402, 6143, 5852, 5331 und 5341 stimmen innerhalb der Fehlergrenzen (etwa $\pm$ 0,1 Volt) mit den aus der Ionisierungsspannung und den Serientermen berechneten überein.

| | Anregungsspannungen Volt | Ionisierungsspannung Volt |
|---|---|---|
| Helium . . | 2 s 19,77 | 24,5 |
| | 2 s 20,55 | |
| Neon . . . . | (2 s) 16,6 | 21,5 |
| | (2 p) 18,5 | |
| Argon . . . | 11,5 | 15,4 |
| | 13,0 | |
| | 13,9 | |
| Krypton . . | 9,9 | 13,3 |
| | 10,5 | |
| | 11,5 | |
| | 12,1 | |
| Xenon . . . | 8,3 | 11,5 |
| | 9,9 | |
| | 11,0 | |

In der vorhergehenden Tabelle sind die Werte der Anregungs- und Ionisierungsspannungen der Edelgase zusammengestellt.

Eindhoven, den 29. Oktober 1924. G. HERTZ.

## Zu den Ausführungen Prof. Habers in Nr. 31 der „Naturwissenschaften".

Als wir bei unseren Versuchen das ständige Auftreten von kleinen Goldmengen nach elektrischen Entladungen zwischen Quecksilberpolen durch die Bildung desselben aus dem Quecksilber erklären mußten, konnten nur äußerst empfindliche quantitative Methoden der Goldanalyse unsere Arbeiten fördern. Da die gewöhnlichen Methoden hier versagten, wandte sich einer von uns an Herrn HABER mit der Bitte, uns seine Methoden bekanntzugeben. Im Verfolg der Unterredung erklärte sich Herr HABER bereit, eine größere Anzahl von Analysen fortlaufend an seinem Institut für uns machen zu lassen.

Herr HABER erhielt im ganzen 17 Präparate zur Goldanalyse, darunter 11 Quecksilberproben, 1 Probe Königswasser, 2 Proben Rückstände von der Quecksilberdestillation, 1 Stück vom benutzten Gefäßmaterial und 2 Elektrodenproben. Herkunft und Vorbehandlung dieser Proben waren ihm nicht bekannt, da wir die Ergebnisse allein für unsere eigene Kontrolle benutzen wollten. Erst nachträglich wurde uns bekannt, daß Herr HABER nicht nur die Gold-, sondern auch Silberbestimmung vorgenommen hatte. Diese Ergebnisse interessieren in diesem Zusammenhang nicht. Wir werden auf diese Seite der Sache noch zurückkommen, da die Untersuchungen noch im Gange sind.

Die Ergebnisse der Haberschen Analysen sind in nachstehender Tabelle zusammengefaßt.

*Tabelle.*

| Bezeichnung der Probe | Angewandte Substanzmenge gr | Au pro gr Substanz gr |
|---|---|---|
| A | 50 . 1102 | $5{,}2 \cdot 10^{-8}$ |
| B | 45 . 9239 | $1{,}4 \cdot 10^{-8}$ |
| C | 32 . 1312 | $2{,}1 \cdot 10^{-8}$ |
| D | 16 . 2034 | $1{,}9 \cdot 10^{-8}$ |
| E | 28 . 1484 | $3{,}6 \cdot 10^{-9}$ |
| G | 68 . 1880 | 0 |
| H | 20 . 3310 | $7{,}9 \cdot 10^{-9}$ |
| J | 48 . 1428 | $1{,}1 \cdot 10^{-9}$ |
| K | 4 . 500 | 0 |
| L | 1 . 500 | 0 |
| M | 3 . 4642 | 0 |
| N | 58 . 8394 | $1{,}1 \cdot 10^{-9}$ |
| O | 20 . 8649 | $3{,}0 \cdot 10^{-8}$ |
| F | etwa 10 mg | $1{,}6 \cdot 10^{-7}$ |
| P | 60 ccm Flüssigkeit | $2{,}0 \cdot 10^{-7}$ |
| Porzellanschälchen | unbekannt | 0 |
| Quarzschälchen | desgl. | $3{,}1 \cdot 10^{-8}$ |

Die Präparate K, L und M sind die in unseren Apparaten benutzten Materialien an Quarz, Eisen und Bogenkohle. Die Feststellung ihrer Goldfreiheit, be-

[1]) G. HERTZ, Zeitschr. f. Physik **18**, 307. 1923.
[2]) H. SPONER, Zeitschr. f. Physik **18**, 249. 1923.
[3]) G. HERTZ, Zeitschr. f. Physik **22**, 18. 1924.

sonders der Goldfreiheit des Quarzes, durch Herrn HABER war von Bedeutung.

Die Präparate G, H und N waren käufliches, analysenreines Quecksilber oder von uns selbst gereinigtes Quecksilber.

Alle übrigen Quecksilberpräparate hatten die Behandlung im elektrischen Lichtbogen durchgemacht.

Lösung P war der Königswasserauszug eines Lampenbeschlags.

Das Quarzschälchen enthielt den Destillationsrückstand eines im Lichtbogen behandelten Quecksilbers; das Porzellanschälchen den Rückstand eines destillierten Quecksilbers.

Die auf diese Untersuchungen des Herrn HABER sich beziehenden Mitteilungen in Nr. 31 der „Naturwissenschaften" sind offenbar mißverstanden worden.

Durch die Tatsache, daß Herr HABER in seinem Bericht die Quarz-, Eisen- und Kohlenproben zu den Quecksilberproben rechnet, daß er ferner nur den Befund des Präparates mit dem geringsten Goldgehalt erwähnt, entstand der Eindruck, daß die Veröffentlichung in Nr. 29 der „Naturwissenschaften" insofern unrichtig gewesen sei, als die dort mitgeteilten Goldgehalte, die sich stets auf eine Lampenfüllung, d. i. im Mittel 1 kg Quecksilber beziehen, um 1—2 Zehnerpotenzen zu hoch angegeben seien.

Dagegen geht aus der mitgeteilten Tabelle hervor, daß außer der von Herrn HABER erwähnten goldfreien Probe (Ausgangsmaterial) sämtliche Quecksilberproben Gold enthielten, und zwar sämtlich mehr als die von Herrn HABER angeführte Probe, die $10^{-9}$ g Au auf 1 g Hg enthielt.

Daß wir den Namen des Herrn HABER bei der damaligen Veröffentlichung uns zu nennen erlaubten, entsprang nur dem Wunsch, einer Dankespflicht für die uns erwiesene Hilfe zu genügen.

Berlin, Technische Hochschule, Photochemisches Laboratorium, den 14. November 1924.

A. MIETHE. H. STAMMREICH.

## Der experimentelle Nachweis der Brechung von Röntgenstrahlen.

Vorläufige Notiz.

Bekanntlich hat schon RÖNTGEN den Versuch gemacht eine Brechung der von ihm entdeckten Strahlen in einem prismatischen Körper nachzuweisen. Aber seine Versuche ebenso wie alle folgenden (von PERRIN, WALTER, GOUY, CHAPMAN, BARKLA, WEBSTER und CLARK) sind erfolglos geblieben.

Andererseits sind die zuerst von STENSTRÖM experimentell gefundenen Abweichungen von dem Braggschen Gesetz der Spiegelung bei Krystallflächen als eine Art von Refraktion deutbar, welche sich der Interferenz überlagert (DARWIN, EWALD). Durch die neuen Untersuchungen von BERGEN-DAVIS und Mitarbeiter, wo der Effekt durch Benutzung von kleinen Inzidenzwinkeln vervielfacht herauskommt und der Messung besser zugänglich geworden ist, wurden in dieser Weise auch numerische Werte der angenommenen Brechungsindices erhalten (siehe doch die eben erschienene Diskussion dieser Messungen von EWALD).

Ebenso ist der Begleiterscheinung der Brechung, die Totalreflexion, bei Röntgenstrahlen experimentell sichergestellt bei amorphen und krystallinen Körpern (COMPTON, SIEGBAHN und LUNDQUIST, STRAUSS).

Es ist uns jetzt gelungen, unter Verwendung von

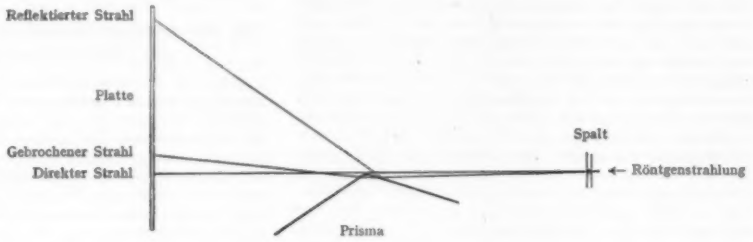


Fig. 1.

geeignet gewählten Versuchsbedingungen eine ganz reguläre Brechung der Röntgenstrahlen in einem Prisma (amorphen oder krystallinen) experimentell nachzuweisen. Bei der Anordnung und Durchführung dieses Versuches (von A. LARSSON und M. SIEGBAHN) diente uns als Unterlage eine Überschlagsrechnung (von I. WALLER), welche zeigte, daß bei genügend kleinen Inzidenzwinkeln eine nachweisbare Ablenkung wahrscheinlich zu erreichen wäre.

Schematisch ist die Anordnung aus Abb. 1 zu sehen. Bei Benutzung von monochromatischen Strahlungen ergibt sich in dieser Weise dicht neben dem direkten Strahl ein Spektrum mit sehr scharfen Spektrallinien. Eine Reproduktion einer in dieser Weise gewonnenen Aufnahme in etwa 10 facher Vergrößerung zeigt die Abb. 2. Als Strahlenquelle diente in diesem Falle eine Antikathode mit Kupfer und Eisen. Die Linien Cu-K-$\alpha$ und -$\beta$ und Fe-K-$\alpha$ und -$\beta$ sind getrennt zu sehen. Auch der an der Vorderfläche des Prismas totalreflektierte Strahl ist scharf abgebildet und ist bei der Ermittelung der Brechungswinkel von Nutzen gewesen.

Fig. 2. Prismaspektrogramm einer Röntgenstrahlung.

Aus den bisherigen Messungsergebnissen seien in folgender Tabelle einige Werte von $\delta$ gleich $1 - \mu$, $\mu$ = Brechungsindex angegeben:

Glasprisma (Dichte: 2,551).

| | Linie | $\lambda$ | $\delta \cdot 10^{-6}$ | $\delta/\lambda^2 \cdot 10^{-6}$ |
|---|---|---|---|---|
| Fe | $K\alpha_{12}$ | 1,933 | 12,38 ± 0,4 | 3,31 ± 0,10 |
| | $K\beta$ | 1,750 | 10,00 ± 0,4 | 3,26 ± 0,10 |
| Cu | $K\alpha_{12}$ | 1,538 | 8,125 ± 0,05 | 3,435 ± 0,02 |
| | $K\beta$ | 1,389 | 6,648 ± 0,05 | 3,443 ± 0,03 |
| Mo | $K\alpha_{12}$ | 0,708 | 1,64 ± 0,10 | 3,3 ± 0,2 |
| | $K\beta$ | 0,630 | 1,22 ± 0,15 | 3,1 ± 0,4 |

Wie aus der letzten Kolonne zu sehen ist, gehen die Werte, wie zu erwarten, proportional dem Quadrat der Wellenlänge.

Aller Wahrscheinlichkeit nach genügt die Genauigkeit der Messungen nach dem hier benutzten Verfahren, um die anomale Dispersion messend zu verfolgen, wodurch eine Methode zur direkten Bestimmung der Elektronenbesetzungszahlen der verschiedenen Niveaus gewonnen ist. Diesbezügliche Untersuchungen sind im Gange.

Näheres über die experimentellen Anordnungen sowie über die Versuchsergebnisse wird demnächst an anderer Stelle mitgeteilt.

Upsala, den 2. Dezember 1924.

A. Larsson. M. Siegbahn. I. Waller.

## Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

**Experimental infection of rats and mice with the common intestinal Amoebae of man.** (John F. Kessel, University of California Publications in Zoology **20**. 1923.) Die Untersuchung von Kessel gibt wichtige Aufschlüsse über die Frage, ob bestimmte Parasiten nur in einem spezifischen Wirte vorkommen oder ob in der Natur Übertragung des Parasiten von einer Art auf eine andere vorkommen kann. K. konnte in seinen Experimenten Nagetiere (Ratten und Mäuse) mit Endamoeba dysenteriae, Endamoeba coli, Councilmannia lafleuri, Endolimax nana und Jodamoeba Bütschli infizieren. Diese erfolgreiche Übertragung von Amöbenarten, die gewöhnlich im Darm des Menschen parasitieren, zeigt, daß bis zu einem gewissen Grad durch eine bestimmte Parasitenart abwechselnd verschiedene Arten von Wirtstieren infiziert werden können. Die Infektion der Ratten und Mäuse mit Amöben aus dem menschlichen Darm gelang in 55% aller Versuche, während bei Infektionsversuchen mit Amöben, die in diesen Nagetieren selbst häufig sind, nur in 53% aller Fälle eine Infektion stattfand. Man kann nicht feststellen, ob die Amöben in den Nagetieren für den Menschen pathogen bleiben, aber die Tatsache, daß sie von einem Tier auf ein anderes weiter übertragen werden konnten, zeigt, daß ihre Lebensfähigkeit durch den Durchgang durch ein Nagetier nicht zerstört wird und daß sich die Parasiten von einem infizierten Tier auf andere ausbreiten können. Die Amöben, die vom Menschen auf die Nagetiere übertragen wurden, zeigten während der ganzen Experimente nie morphologische Änderungen oder Variationen. Für die experimentelle Medizin ist es wichtig, daß die Versuche ergaben, daß die jungen Ratten geeignet sind für die Untersuchung der pathologische Folgen der Amöbenruhr. Kätzchen, die mit E. dysenteriae experimentell infiziert wurden, zeigten eine akute Form der Amöbenruhr, und die Amöben hatten bald pathologisches Aussehen. Da die Ratten aber die Infektion mit E. dysenteriae 5 Monate ertrugen, ist es wahrscheinlich, daß die Amöbenruhr bei ihnen wie beim Menschen dazu neigt, chronisch zu werden. Junge und amöbenfreie Tiere wurden zu einem höheren Prozentsatz von der Infektion befallen als alte Tiere oder solche, die Amöben in ihrem Darm beherbergten. Die Ratten wurden deshalb bei den Experimenten zuerst durch Abführmittel (Brot in eine gesättigte Lösung von $MgSO_4$ in $H_2O$ eingeweicht) amöbenfrei gemacht. Nach den Ergebnissen dieser Versuche muß immerhin mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß die Ratte oder die Maus Trägerin der Erreger der menschlichen Amöbenruhr ist.

Walter Landauer.

**Zellstimulationsforschungen.** ***Encystierung und Stimulation bei Euglena gracilis Ehrb.*** Die von Popoff an Pflanzensamen beobachteten Stimulationserscheinungen wurden von Paspaleff (Zellstimulationsforschungen **1**, Heft 1, S. 39—56. 1924) auf ihre Gültigkeit hin an dem Einzeller Euglena gracilis geprüft, indem chemische Mittel, mechanische Reizung, Temperatureinwirkung und Sauerstoffzufuhr zur Anwendung gelangten. Die Euglenen wurden in 1 proz. Peptonlösung mit einem Zusatz von 1% Acidum citricum kultiviert. Der Depressionszustand, der sich durch die Unbeweglichkeit der Protisten, den gedrungeneren Körperbau, das Verblassen der Chloroplasten und des Stigmas kennzeichnet, und die Cystenbildung wurden dadurch veranlaßt, daß die Organismen in reines Wasser bzw. Wasser + wenig Ammoniak übergeführt wurden. Die Ausführung der Stimulationsversuche geschah in der Weise, daß die depressionierten Euglenen bzw. die Cysten, eine bestimmte Zeit (5—120 Minuten) mit der betreffenden Stimulanslösung behandelt wurden und dann in Wasser gelangten. Versuche mit 30 promill. $MgCl_2$-Lösung zeigten, daß im Depressionszustande sich befindliche Euglenen durch die Behandlung ihre normale Beweglichkeit und ihr normales Aussehen im Gegensatz zu den Kontrollen erhielten. In Encystierung begriffene Flagellaten kehrten schon nach zwei Stunden (5 minutenlange Behandlung mit 3 promill. $MgCl_2$) in den normalen Funktionszustand zurück. So behandelte Cysten wurden zum Ausschlüpfen gebracht. Noch intensiver war die Wirkung, wenn die $MgCl_2$-Lösung schwach mit HCl angesäuert wurde. Ähnliche Wirkungen übten Äthylalkohol (Optimum bei 10 Promille 15 Minuten), Glycerin (10 Promille 1 Stunde), Formaldehyd (0,2—0,4 Promille 15′), Chinon, Pyrogallussäure ($^1/_2$ Promille 15′), Tannin (1 Promille 45′) aus. Ein Einfluß der mechanischen Reizung konnte beobachtet werden, als die Cysten mit der Pipette von einem Schälchen in das andere übertragen wurden. Die Erschütterung genügte, die Cysten ausschlüpfen zu lassen. Die stimulierende Einwirkung einer Abkühlung mit nachträglicher Erwärmung konnte festgestellt werden, wenn encystierte Euglenen aus der Nährlösung in Wasser von 18° gebracht wurden, dann für 5 Minuten in Wasser bei 0° und endlich wieder zurück in Wasser von 18°. Da nach Popoff (Zellstimulantien und ihre theoretische Begründung. Zellstimulationswirkungen **1**, H. 1, S. 3—38. 1924) die Stimulationsforschungen in einer Aktivierung der Oxydationsprozesse in der Zelle bestehensollen, wurde der Einfluß des O-Gehaltes in den Medien geprüft. In stark geschütteltem Wasser fand ein schnelleres Ausschlüpfen der Cysten statt als in ungeschütteltem oder abgekochtem Wasser. Auffällig ist die Tatsache, daß eine Überführung von Cysten in die zur Anwendung gelangte Nährlösung keine Veränderung des Cystenzustandes verursachte. Erst eine Versetzung in eine ziemlich stark verdünnte Nährlösung veranlaßte das Ausschlüpfen,

das aber auch nicht als sonderlich stark zu bezeichnen ist. Eine intensivere Wirkung trat ein, wenn depressionierte Euglenen oder Cysten aus der Nährlösung in destilliertes luftgesättigtes Wasser gebracht wurden.

*Stimulationswirkung bei Samen.* GLEISBERG (Zellstimulationsforschuugen 1, H. 1, S. 75—86) konnte feststellen, daß bei dreistündiger Behandlung mit einer 30 promill. Lösung von Magnesiumchlorid und Magnesiumsulfat eine erhöhte Keimenergie für die Samen der Eckendorfer Futterrübe vorhanden war. Bei Feldversuchen ergab sich, daß die Samen mit dreistündiger Stimulierungsbehandlung Pflanzen mit einem Mehrertrag von ca. 10% Kraut- und Rübengewicht hervorbrachten. Bei dieser Gelegenheit wurde auch der stimulierende Einfluß des Leitungswassers infolge seines Salzgehaltes konstatiert. Sowohl vom theoretischen als praktischen Standpunkte ist es von Interesse, ob eine Stimulationsbehandlung der Samen auch dann noch in Erscheinung tritt, wenn zwischen Behandlung (mit daran sich anschließender Trocknung) und Aussaat eine längere Frist verstrichen ist, d. h. ob eine Nachwirkung stattfindet. Keimungsversuche mit Rübensamen führten zu einer Beantwortung der Frage im positiven Sinne, indem bei einer Zwischenzeit von fast einem Jahre eine Nährwirkung der Behandlung festgestellt wurde, sowohl hinsichtlich Keimbeginn, Keimenergie und Ertragsergebnis. Da in der landwirtschaftlichen Praxis meistens mit nicht so langen Nachwirkungszeiten zu rechnen ist, wurde mit Gerste ein Versuch durchgeführt, bei dem eine Zwischenzeit von 10 Tagen vorhanden war. Auch dabei trat die Nachwirkungserscheinung deutlich zutage. Ob die Ursache dieser Tatsache in einer vermehrten Durchlässigkeit der Samenschale für Wasser zu suchen sei, konnte durch einen Versuch dahin erweitert werden, daß neben der Veränderung der Samenschale noch eine Plasmaänderung bzw. eine Änderung im Biochemismus vorliegen muß. „In dem kolloiden System des Keimes wird nach Zuführung der Stimulantien und nach Austrocknung ein anderer Zustand als der normale bis zur eigentlichen Keimung fixiert. Die Auswirkung dieses Zustandes in der Keimung ist die Nachwirkung."

*Beschleunigung der Wundregeneration.* (POPOFF und TESKOFF, Zellstimulationsforschungen 1, H. 1, S. 57—73). Die Stimulationsversuche wurden auf vielzellige Tiere übertragen, indem geprüft wurde, ob die Stimulationsmittel als Beschleuniger der Wundregenerationsprozesse in Frage kommen. Da frühere Versuche an Hydra viridis (Biologia Generalis, Prag 1924) positiv ausgefallen waren, so lag es nahe, ein anderes klassisches Objekt für Regenerationsexperimente — Planaria gonocephala — zu benutzen. Die Tiere wurden direkt unter der Mundöffnung durchgeschnitten, und der abgeschnittene hintere Teil diente als eigentliches Objekt, d, h. er mußte einen neuen Kopf regenerieren. Die erhaltenen Teile wurden auf verschieden lange Zeit in die zur Stimulierung benutzte Lösung gebracht und dann in Wasser weiter gezüchtet. Bei einigen Versuchen wurde die Stimulationsbehandlung ein- bis dreimal wiederholt. In den Versuchen war die regenerationsfördernde Einwirkung deutlich zu erkennen. Die Regenerationskraft wurde bei den günstigst wirkenden Mitteln so gesteigert, daß die Zeit des Wundheilungs-Regenerationsprozesses um ein Drittel der normalen Dauer, die 10—12 Tage beträgt, abgekürzt wurde. Von starker Wirkung erwies sich wieder $MgCl_2$, besonders bei einer mit ein- bis zweitägigen Pausen unterbrochenen Behandlung. Von anderen Mitteln wurden noch geprüft: KJ (optimale Konzentration und Behandlungszeit: 2 Promille — 3 Min. und 1 Promille — 10—15 Min.), Kalium Arsenicosum (0,05 Promille — 10 Min.), Glycerinphosphorsäure ($^1/_{10}$ Promille — 2—3 Min.), Mischung von 2 Promille und 1 Promille KJ (10 Min.), 0,25% Tannin + 1% KJ (10 Min.), Ameisensäure ($^1/_{10}$ ccm 85% Acid. form. pro 1 l Wasser — 15 Min.).

ALBERT PIETSCH.

**Experimentelle Untersuchungen zur Frage nach der Ernährung der Wassertiere durch gelöste Nährstoffe.** (J. KŘIŽENECKÝ, Zoolog. Anzeiger, 58, 7/8. 1924.) PÜTTER hatte 1908 die Theorie aufgestellt, nach der viele Wassertiere neben geformter Nahrung auch im Wasser gelöste Nährstoffe aufzunehmen imstande seien. Er war zu dieser Annahme hauptsächlich auf Grund von Berechnungen gelangt, die zeigten, daß die vorhandene geformte Nahrung nicht ausreichte zur Deckung des Nahrungsbedarfes der Seetiere. Auch reichten die tatsächlich im Darm gefundenen Nahrungsmengen nicht aus, um den aus dem Sauerstoffverbrauch berechneten Nahrungsbedarf der Tiere auch nur annähernd zu befriedigen. Neben diesen Berechnungen stützte sich diese Theorie, die teilweise auf lebhaften Widerspruch stieß, auf eine Reihe direkter Versuche. Ein solcher ist auch der vorliegende von KŘIŽENECKÝ. Junge Kaulquappen des Grasfrosches (Rana temporaria) wurden in Lösungen von Witte-Pepton + Saccharose (je 4—5 g auf 1000 ccm $H_2O$) oder von „Bioklein", einem aus Weizen- und Kornkeimlingen hergestellten Präparat (0,5—4 g auf 1000 cm $H_2O$) ohne jede sonstige geformte Nahrung gezüchtet und mit in reinem Wasser gehaltenen Hungertieren sowie mit normal gefütterten Tieren verglichen. Während die Hungertiere nach ca. 3 Wochen zugrunde gingen, gelangten die Biokleintiere normal zur Metamorphose; die Pepton + Saccharose-Tiere zeigten eine verlangsamte Entwicklung, wobei auch in einem Fall ein metamorphosiertes Fröschchen erhalten wurde. Im Gegensatz zu den Hungertieren nahm bei den Versuchstieren sowohl die Körperlänge wie auch das Lebend- und das *Trockengewicht* zu, es fand also eine Substanzzunahme statt. (Eine geringe Längenzunahme der Hungertiere war nur vorübergehend festzustellen und fand ohne Substanzvermehrung statt.) Um die Wirkung der gelösten Nahrung neben der geformten zu untersuchen, wurde den in den Nährlösungen gehaltenen Tieren auch noch geformte Nahrung gereicht. Es ergab sich nun eine sehr starke Wachstumssteigerung. Die Versuchstiere waren gegenüber den Kontrolltieren 49,72% länger und das Übergewicht betrug für das Lebendgewicht 248,12% und für das Trockensubstanzgewicht 241,88%. Diese Versuche fielen bei beiden Nährlösungen übereinstimmend aus, während bei den Versuchen mit der reinen Nährlösung sich die Biokleinlösung als die bessere erwies. Der Verf. nimmt daher an, daß die chemische Natur der gelösten Nahrungsstoffe bei gleichzeitiger Aufnahme von geformter Nahrung eine geringere Rolle spiele, als wenn die gelöste Nahrung allein dem Tier zur Verfügung steht. Die Wachstumssteigerung bei Ausnutzung beider Nahrungsquellen ist von der Konzentration der Nährlösung abhängig und nimmt bei sinkender Konzentration der Lösung ab. Es sprechen also diese Versuche für die Püttersche Theorie, indem sie zeigen, daß Tiere sowohl mit gelöster Nahrung *allein* ihren Bedarf decken können wie auch, daß die gelöste Nahrung *neben* geformter Nahrung auszunutzen vermögen.

K. BALDUS.

Der Nachruf auf Prof. HERMANN BRAUS wird in einem der ersten Hefte des nächsten Jahrgangs erscheinen.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.